

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

Zařízení a práce na rozvodech topných plynů v hutí

Machinery and Tasks on Distribution of Heating Gases  
in Steelworks

Student: Vít Kowolowski

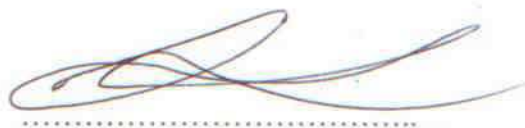
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ladislav Kysela, CSc.

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 11. 5. 2010

A handwritten signature in blue ink, consisting of a series of loops and flourishes, positioned above a dotted line.

Kowolowski Vít

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářské práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было сједнано, же с VŠB-TUO, в případě zájmu z její strany, uzavřou licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было сједнано, же užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же оdevздáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 11. 5. 2010



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Vít Kowolowski

Adresa trvalého pobytu autora: 739 98 Mosty u Jablunkova 359

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ladislavu Kyselovi, CSc. za odborné vedení mé práce a pomoc při určování záměnnosti topných plynů. Dále bych chtěl poděkovat p. Zdeňku Kohutovi a p. Janu Pomykaczovi, za cenné připomínky k plynovým pracím a historii plynárenství v Třineckých Železárnách, a.s. a ing. Radimu Swidrovi, za pomoc při hledání vyhlášek a ČSN vztahujících se na danou problematiku.

Vít Kowolowski

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KOWOLOWSKI, V. Zařízení a práce na rozvodech topných plynů v hutí: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2010, 60 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Ladislav Kysela, CSc.

Bakalářská práce se zabývá zařízením a činnostmi na rozvodech topných plynů, tak aby bylo možné bezpečně provádět práce za plného provozu, nebo jen s minimálním omezením. Je zaměřená zejména na zhotovování nových odboček na potrubních rozvodech topných plynů pod tlakem. V úvodu jsou uvedeny doposud známé postupy zhotovování nových odboček a historický vývoj speciálních plynových prací v průmyslových závodech. Čtenář je seznámen s jednotlivými topnými plyny vyráběnými a používanými v hutích, jejich fyzikálními a tepelně technickými vlastnostmi. Je citována současná platná legislativa vztahující se na rozvody topných plynů a bezpečnost při provádění prací za provozu. Dále jsou provedeny výpočty fyzikálních a tepelně technických vlastností na základě měření složení topných plynů, prováděném v Třineckých Železárnách, a.s. Tyto poznatky jsou aplikovány na dva problémy spojené s provedením nových odboček za provozu stávajících plynovodů, s ohledem na bezpečnost prací a technické možnosti zařízení pro tyto práce.

## **ANNOTATION OF BACHELOR'S THESIS**

KOWOLOWSKI, V. Machinery and Tasks on Distribution of Heating Gases in Steelworks: Bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy Engineering, 2010, 60 p., Thesis head: doc. Ing. Ladislav Kysela, CSc.

The thesis deals with the machinery and works on heating gas distribution in order to execute work safely in the working conditions, or only with minimum restrictions. It focuses particularly on production of new branch pipes of fuel gas distribution under pressure. The introductory part of the thesis describes the hitherto known production processes of new branch pipes and the historical development of special gas works in industrial factories. The reader gets acquainted with particular types of heating gases that are being produced and used in steelworks, and also with their physical and technical properties. Dealing with the theory, the current valid legislation is quoted, too, which relates to fuel gas distribution and safety in the working conditions. As concerns the practical part, the calculations of physical and technical properties are performed on the basis of measurement of heating gas composition, taken in Třinecké Železářny, a.s. With the help of two practical examples relating to production process of new branch pipes in the working conditions of existing gas piping, these findings are applied, with regard to work safety and machinery technical equipment for this work.

## **Obsah**

1. Úvod.....	11
2. Speciální plynové práce prováděné na rozvodech topných plynů .....	12
2.1 Dočasné odstavení plynovodu z provozu .....	12
2.2 Navrtávací práce do potrubí.....	14
2.3 Trhací práce .....	15
2.4 Práce využívající tzv. “balónování” plynovodu .....	16
3. Topné plyny, jejich fyzikální a tepelně technické vlastnosti .....	17
3.1 Vysokopeční plyn .....	20
3.2 Koksárenský plyn .....	21
3.3 Konvertorový plyn .....	23
3.4 Zemní plyn .....	24
3.5 Směsný plyn.....	24
3.6 Záměnnost topných plynů.....	26
3.7 Oxid uhelnatý a jeho účinky na lidský organismus .....	27
4. Doprava topných plynů potrubím .....	29
4.1 Návrh průměru potrubí .....	30
4.2 Vliv tlakových ztrát .....	30
4.3 Tloušťka stěny potrubí.....	32
5. Technické normy, legislativa a bezpečnost při plynových pracích.....	33
6. Výpočet tepelně technických a fyzikálních vlastností topných plynů .....	37
7. Zhotovení odbočky DN150 na potrubí koksárenského plynu.....	42
7.1 Provedení navrtávky .....	43
7.2 Technické parametry pro navrtávání pod tlakem.....	45
8. Výměna zastaralého potrubí VP plynu DN1600 pro teplárnu .....	46
8.1 Provedení trhací práce .....	47
8.2 Montáž nového potrubí DN1600 .....	52
8.3 Zaslepení zkorodovaného potrubí DN1600 .....	52
8.4 Odslepení a zaplynění nového potrubí DN1600.....	55
9. Závěr.....	57

10.	Literatura .....	58
11.	Seznam příloh.....	59
12.	Seznam obrázků.....	59
13.	Seznam tabulek.....	60

## Seznam použitých značek a symbolů

$a_i$	korekční koeficient pro vyšší uhlovodíky	[-]
$B$	korekce meze zápalnosti čistých hořlavých složek	[%]
$b$	šířka štěrbin	[mm]
$C$	potenciál spalování	[-]
$c$	rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
$d$	hutnota	[-]
$d$	průměr potrubí	[mm]
$D$	vnější průměr	[mm]
$D_i$	vnitřní průměr	[mm]
$DP$	výpočtový tlak	[bar = 10 <sup>5</sup> Pa]
$f_0$	výpočtový součinitel	[-]
$K_1$	korekční faktor 1 závislý na složení plynu	[-]
$K_2$	korekční faktor 2 závislý na složení plynu	[-]
$K_d$	dolní mez výbušnosti (zápalnosti)	[%]
$K_{d-č}$	dolní mez zápalnosti čistých hořlavých složek	[%]
$K_h$	horní mez výbušnosti (zápalnosti)	[%]
$K_{h-č}$	horní mez zápalnosti čistých hořlavých složek	[%]
$l$	délka potrubí	[m]
$L$	hledaná délka potrubí k produsíkování	[m]
$m$	hmotnost	[kg]
$p$	tlak	[Pa]
$p_{abs}$	absolutní tlak	[Pa]
$p_{at}$	atmosférický tlak	[Pa]
$p_i$	tlak i-té složky plynu ve směsi	[Pa]
$\Delta p$	přetlak	[Pa]
$\Delta p_z$	tlaková ztráta v potrubí	[Pa]
$P$	výkon	[kW]
$P_s$	výkon spotřebiče	[kW]
$Q_i$	výhřevnost	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
$Q_{ii}$	výhřevnost i-té složky plynu ve směsi	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
$Q_s$	spalné teplo	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
$Q_{si}$	spalné teplo i-té složky plynu ve směsi	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
$r$	měrná plynová konstanta	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ; J.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup> ]



Re	Reynoldsovo číslo	[-]
Rt <sub>0,5</sub>	nejmenší konvenční mez kluzu	[N.mm <sup>-2</sup> ]
T	teplota absolutní	[K]
t	čas	[s]
T <sub>min</sub>	minimální tloušťka stěny	[mm]
u	korekční koeficient 1 charakterizující druh plynu	[-]
V	objem	[m <sup>3</sup> ]
v	korekční koeficient 2 charakterizující druh plynu	[-]
V <sub>(n)</sub>	objem za normálních podmínek	[m <sup>3</sup> ]
V <sub>i</sub>	objem i-té složky plynu ve směsi	[m <sup>3</sup> ]
	objemový průtok plynu za normálních podmínek	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
W	Wobbeho číslo	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
W'	korigované Wobbeho číslo	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
W <sub>i</sub>	nižší Wobbeho číslo	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
W <sub>s</sub>	vyšší Wobbeho číslo	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
φ	vlhkost vzduchu	[-]
ε	střední nerovnost vnitřního povrchu potrubí	[mm]
η <sub>s</sub>	účinnost spotřebiče	[-]
λ	součinitel tření	[-]
ρ	hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>(n)</sub>	hustota za normálních podmínek	[kg.m <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>i</sub>	hustota i-té složky plynu ve směsi	[kg.m <sup>-3</sup> ]
ρ <sub>vzd(n)</sub>	hustota vzduchu za normálních podmínek	[kg.m <sup>-3</sup> ]
σ <sub>p</sub>	měrné nejvyšší obvodové napětí	[N.mm <sup>-2</sup> ]
ν	kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
ω <sub>i</sub>	objemová koncentrace i-té složky plynu ve směsi	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]
ω <sub>ič</sub>	objemová koncentrace i-té hořlavé složky v čisté hořlavině	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]
ω <sub>iH</sub>	objemová koncentrace i-té hořlavé složky ve směsi	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]

## 1. Úvod

V hutní výrobě, zaměřené na výrobu železa a oceli a její další zpracování vzniká velké množství vedlejších produktů a odpadů, které lze dále využít. Některé z těchto vedlejších produktů a odpadů obsahují velké množství energie, ať už chemicky vázané, nebo ve formě zbytkového tepla. Tyto tzv. „Druhotné energetické zdroje“ (DEZ) lze dále využívat, buď zpětně ve výrobě, nebo jsou dopravovány k dalšímu užití v energetickém průmyslu.

Většina druhotných energetických zdrojů vznikajících v hutním průmyslu je v plynném skupenství (palivové DEZ, např. vysokopecní či konvertorový plyn) nebo v kapalném skupenství (tepelné DEZ, např. voda nebo pára vznikající při chlazení různých agregátů). Jediným vhodným způsobem dopravy, pro další využívání chemické, či tepelné energie v nich obsažené, je potrubí.

Takovéto potrubní rozvody jsou součástí každé huti, jsou často složitě větveny a je možno vidět potrubí od velkých průměrů (i  $\varnothing$  3000mm, většinou hlavní řády topných plynů) až po velmi malé ( $\varnothing$  21mm, např. parní ohřev malých agregátů). Tak jak se vyvíjí hutní podniky (stavba nových, technologicky vyspělejších agregátů) a jak vznikají požadavky na využívání druhotných energetických zdrojů uvnitř i vně podniku, **je často potřebné budovat nové potrubní řády, odstavovat a likvidovat staré**. Vzhledem ke stáří některých stávajících rozvodů provádět výměny potrubních celků, jejich opravy atd.

Protože není vždy možné odstavit potrubí z provozu, pro případnou opravu nebo napojení nové odbočky, **existují metody jak provádět tyto činnosti za nepřetržitého provozu stávajících zařízení nebo jen za malého omezení**. Tyto metody (dále jen speciální plynové práce) přinášejí **výhody jak ekonomické** (představme si náklady spojené s odstávkou vysoké pece, protože potřebujeme zhotovit z hlavního řádu vysokopecního plynu novou odbočku), **tak ekologické** (vypuštěné množství vysokopecního plynu s vysokým obsahem CO z hlavního řádu do ovzduší při odplynění). Vzhledem k tomu, že výroba železa a oceli je v podniku nadřazená druhotným energetickým zdrojům, uvažovat nad podobnými odstávkami ani nemá smysl, ekonomické ztráty s takto spojenou odstávkou jsou nevyčíslitelné.

Vzhledem k rozsahu druhotných energetických zdrojů v huti je tato práce zaměřena pouze na palivové DEZ, jejímiž představiteli v huti jsou topné plyny. **Cílem této práce je seznámit s jednotlivými druhy topných plynů vznikajících v huti, s jejich fyzikálními a tepelně technickými vlastnostmi, a zejména se zaměřit na problematiku speciálních plynových prací, rozebrat hlavní z nich, poukázat na jejich výhody a nevýhody, kde jsou vhodné použít a poukázat na normy k prováděným pracím z hlediska bezpečnosti.**

## **2. Speciální plynové práce prováděné na rozvodech topných plynů**

Jak již bylo zmíněno v úvodu, jsou speciální plynové práce metody, které za přesně určených podmínek a postupů umožňují provádět zásahy na plynových řadech v podnicích, aniž by byl výrazně omezen provoz zařízení. Podmínky a postupy pro tyto práce jsou stanoveny v [1] a bude o nich zmínka v následujících kapitolách.

Bohužel vzhledem k tomu, že pro práce v prostředích s nebezpečím výbuchu se stanovují podmínky individuálně zaměstnavatelem (resp. provozovatelem) [1], a že v každém větším podniku je trochu jiná situace (jiný tlak plynů v potrubí, mírně odlišné chemické složení topných plynů a tím i vlastnosti, apod.), existuje velké množství různých druhů speciálních plynových prací pro zásahy za provozu, lišící se více či méně od jednoho hutního provozu k druhému. Dalším faktorem, který výrazně ovlivnil tuto specifickou oblast plynárenství u nás, byl historický vývoj v podnicích po roce 1989, kdy přešly velké závody privatizací a restrukturalizací. Řada podniků se rozdrobila na menší celky, hutní závody se často rozdělily v rámci provozů apod., dále byla postupně zpřísnována bezpečnostní opatření, ochrana zdraví při práci a environmentální politika. To mnělo za následek, že velké množství speciálních činností souvisejících s pracemi na plynových zařízeních buď neobstálo, nebo se nenávratně ztratily. Ty, jež byly zachovány, nebo nově vznikly, se staly duševním vlastnictvím plynárenských podniků, které je bedlivě střeží.

Proto je velmi těžké specifikovat všechny speciální práce, které jsou v ČR využívány a ani to není účelem této práce. Hlavní z nich jsou uvedeny v následujících kapitolách.

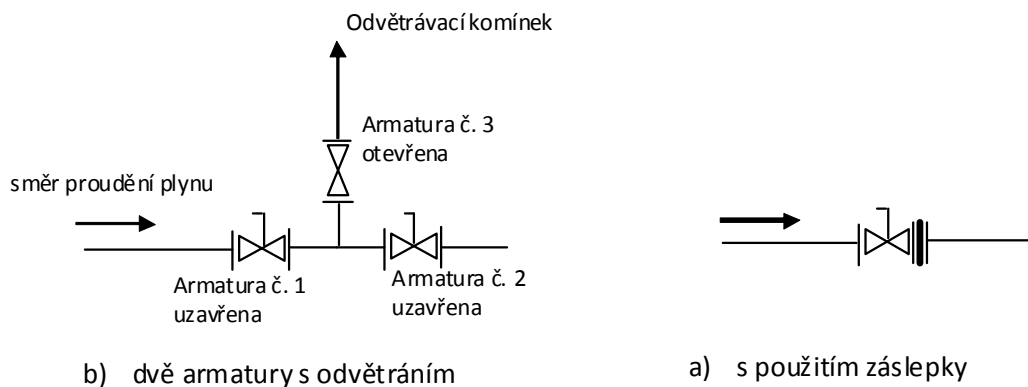
### **2.1 Dočasné odstavení plynovodu z provozu**

Pro zhotovení nové odbočky je to z hlediska proveditelnosti nové odbočky nejjednodušší metoda, která nese rizika pouze při odstavování a uvádění plynovodu do provozu. Tam kde všechny ostatní metody pro zhotovení nové odbočky selhávají z technických důvodů, zůstává jediným způsobem řádně odstavit stávající plynovod z provozu a na něm provést napojení odbočky nové.

Odstavení se plynovodu se provádí s ohledem na místní provozní řád <sup>1)</sup>, v zásadě je ale třeba nejdříve provést spolehlivé oddělení potrubí od ostatních zařízení (obr.2.1), provést odplynění potrubí, kontrolu odplynění, a teprve potom je možno přikročit k zhotovení nové odbočky, tzn. vyřezáním otvoru a navařením nové odbočky.

„Odplynění je postup, při němž se ze zařízení vytlačuje plyn vzduchem nebo inertním plynem, odplyňuje se tak dlouho, dokud není prokazatelně zjištěno měřením, že koncentrace plynu je nižší než 10% dolní meze výbušnosti“ [2, s.8]. Odplynění je možno provádět taky jímáním vzorků do balonku (vzorek se na volném prostranství zapálí, nesmí hořet). Každá zkušená obsluha plynových zařízení (případně jiná osoba oprávněna provádět odplynění) se

vyhne používání vzduchu při odplynování, pokud má možnost. Předejde se tak možnému riziku iniciace, kdy po krátkou dobu dochází k namíchání výbušné směsi přímo v potrubí <sup>2)</sup>.



## 2-1 Oddělení potrubí od ostatních [2]

Po provedených opravách na zařízení (v tomto případě zhotovení nové odbočky) je třeba před samotným vpuštěním plynu provést nejdříve „odvzdušnění, což je postup, při kterém se ze zařízení vytlačí v něm obsažený vzduch. Kdyby přechodné vytvoření výbušné směsi v zařízení bylo spojeno s nebezpečím výbuchu, pak se k vytlačení vzduchu z plynového rozvodu použije inertního plynu“ [2, s. 8]. Odvzdušňuje se tak, že všechny vývody odvzdušňovaného potrubí se uzavrou, otevře se odvzdušňovací uzávěr a přívodním uzávěrem plynu se pouští zvolna plyn (v případě topných plynů dobře hořlavých a výbušných se doporučuje inertní plyn!), který vytlačuje vzduch. Odvzdušňuje se tak dlouho, dokud není prokazatelně zjištěno, že v potrubí není výbušná směs plynu, nebo že je v potrubí plyn požadovaného složení. Ověření se provádí měřením pomocí detektorů na kyslík, přičemž obsah kyslíku musí být menší než 1% obj. [2]. Kontrola odvzdušňování u hořlavých plynů zapálením proudu plynu vytékajícího ze vzorkovacího kohoutku je zakázána., stejně tak je zakázáno odvzdušňování skrz topeniště a odtahem spalin plynového spotřebiče.

Vzhledem k tomu, že topné plyny, zejména hutní plyny (např. koksárenský viz.kap.3) obsahují velké množství mechanických nečistot, které velmi dobře hoří (naftalen apod.) je dobré provádět práce s ohněm (svařování, broušení, pálení) při zhotovování nových odboček pod neustálým přetlakem inertního plynu v odstaveném potrubí.

Tento nejstarší a vždy platný způsob provádění odboček se využívá, pokud již opravdu není jiná možnost, nebo pokud odstávka výrazně neochromí rozvod plynů ke spotřebičům (například při plánované opravě spotřebičů). Je totiž náročný z časového hlediska: Odplynění, oprava, tlaková zkouška odstaveného rozvodu, odvzdušnění, zaplynění, ale hlavně z ekonomického hlediska. Pokud se např. odstaví hlavní přívod koksárenského plynu z koksárenských baterií, který dodává do sítě v huti 35 000 m<sup>3</sup>/hod. o výhřevnosti cca 17 MJ/m<sup>3</sup> je to pro podnik ekonomická katastrofa. Pro huť znamená odstavení hlavních řádů

(průměry i 3000mm) něco jako u člověka proříznutí tepen, okamžité ochromení základních funkcí (hlavních agregátů). Mnohé z těchto důležitých rozvodů jsou v provozu od svého prvního spuštění nepřetržitě.

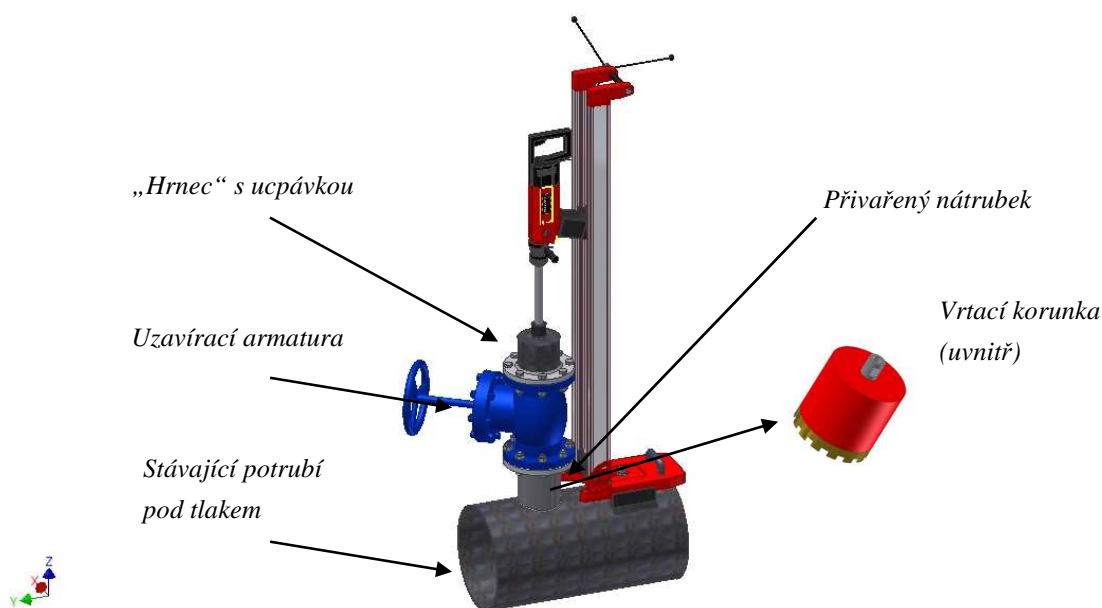
---

<sup>1)</sup> *Místní provozní řád – soubor technicky organizačních opatření, včetně bezpečnostních zásad k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu. [2]*

<sup>2)</sup> *Výbušná směs je koncentrace plynu se vzduchem v mezích výbušnosti (též zápalnosti). Dolní mez výbušnosti – nejnižší objemová koncentrace hořlavého plynu ve směsi se vzduchem nebo kyslíkem, při které dochází k samovolnému šíření plamene a řetězovému spalování. Horní mez výbušnosti – nejvyšší objemová koncentrace hořlavého plynu ve směsi se vzduchem nebo kyslíkem, ve které se ještě šíří plamen a probíhá spalování. [3]*

## **2.2 Navrtávací práce do potrubí**

Tato činnost umožňuje zhotovovat nové odbočky od světlosti DN15 až do světlosti DN250, princip této činnosti je vyobrazen na obr. 2.2, spočívá v navaření nátrubku na stávající potrubí, na který se namontuje uzavírací armatura a skrz uzavírací „hrnec s ucpávkou“ na armatuře se provede odvrtání za pomoci diamantové korunky, a to tak, aby oddělená část potrubí nespadla dovnitř. Po odvrtání se korunka i s odvrtanou částí vtáhne skrz armaturu do „hrnce s ucpávkou“, armatura se uzavře a po demontáži vrtné soupravy se provede za armaturou zaslepení. Teď již lze montovat novou odbočku od armatury k novému spotřebiči. Přesný způsob provádění navrtávacích prací s ohledem na bezpečnost, ochranou před výbuchem, platnou legislativou je řešen v kap. 7 a sestava vrtné soupravy je v příloze č. 6 této bakalářské práce.

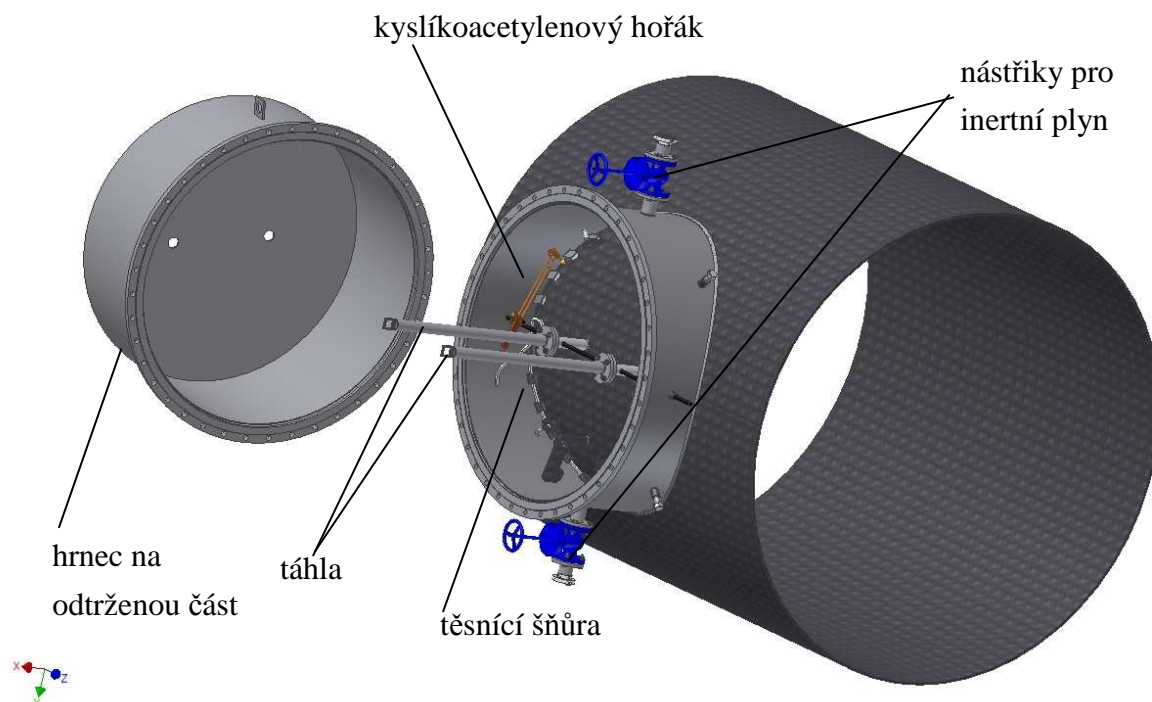


obr. 2-2 schéma navrtávky

## 2.3 Trhací práce

Tato již poněkud zastaralá metoda je s výhodou používána pro zhotovování odboček velkých průměrů (DN300 a více) u plynů s nižší výhřevností, zejména v hutních podnicích. Je zobrazena na obr. 2.2. Princip spočívá v tom, že za trvalého působení inertního plynu v okolí se provádí postupné vypálení kyslíkoacetylenovým plamenem uvnitř navařeného nátrubku. Plyn při pálení vyhořívá a po malých odpálených úsecích je vzniklá mezera utěšňována těsnicí šňůrou. Až se provede odpálení po celém obvodu, šňůra se odstraní, na nátrubek s přírubou se nasadí hrnec, do něj se za pomoci táhla vtáhne odpálená část potrubí a do přírubového spoje mezi nátrubek a „hrnec“ se vsune záslepka. Aby odpálená část nevypadla po odpálení po celém obvodu, je uchycena speciálními přípravky, které se po nasazení hrnce na nátrubek odstraní. Tím je odbočka hotova a připravená pro montáž potrubí.

Tato činnost je oproti navrtávání nesmírně složitá, vyžaduje pečlivou přípravu a je spojená s vyšším rizikem. Dochází při ní k výronu plynu, práce se provádějí s využitím dýchací techniky a asistencí hasičského záchranného sboru, okolní prostor je střežen hlídkami před vstupem neoprávněných osob do okolí pracoviště, a je měřena čistota ovzduší. Přesný popis činnosti s ohledem na všechny rizika a možnosti provedení je řešen v kapitole 8, výkresová dokumentace pro trhací práce je v příloze č. 7 této bakalářské práce.



2-3 Trhačka

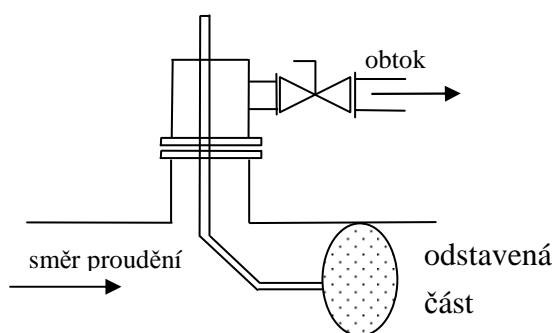
Tato metoda přichází do úvahy pouze v oblastech nízkotlakých rozvodů, tzn. plynovodů s provozním tlakem do 5kPa [4]. U plynů s velkou výhřevností se používala dříve obdobná

metoda jako u trhací práce s vypalováním. Rozdíl spočíval v tom, že se nedalo použít hořáku na pálení (plyn s výhřevností nad  $10 \text{ MJ/m}_n^3$  již hoří velmi dobře a dá se jen nesnadno uhasit), proto se nejdříve vybrousila drážka do stávajícího živého potrubí na nejzazší možnou hranici (okolo 1mm), nechaly se jen krátké můstky, aby obroušená část nevypadla dopředně, teprve pak se navařil nátrubek s veškerým příslušenstvím v místě pro novou odbočku, a do předpřipravené drážky se sekalo sekáčem namáčeným v oleji (aby se zabránilo iniciaci). Po odsekání už byl postup stejný, jako v předchozím případě. Tato metoda měla ovšem svá úskalí a s ohledem na bezpečnost práce se od ní upustilo. Docházelo totiž k vzniku netěsností ve vybroušené drážce a k výronu plynu, což komplikovalo následné přípravné práce (navarování nátrubku, příslušenství, táhla apod.). V případě nutnosti je ale možno provést za mimořádných bezpečnostních opatření i tento druh trhací práce.

Trhací práce nelze provádět v budovách, pouze v místech s otevřeným prostranstvím.

## **2.4 Práce využívající tzv. „balónování” plynovodu**

Tento speciální druh plynových prací je používán zejména v oblasti vysokých tlaků (až do 75bar) nejčastěji u dálkových rozvodů zemního plynu. Dají se provádět do světlosti DN500 [5]. Princip činnosti je zobrazen na obr. 2.4. Potrubí se liniově z jedné nebo obou stran odstaví, a to tak, že skrz navrtanou část do potrubí (přes ucpávkový systém) se vsune ramenem „balón“ který se natlakuje a tím de facto zaslepí plynovod zevnitř, zároveň je skrz navrtanou část vytvořen obtok plynu mimo odstavenou část (světlost až DN150), na odstavené části, která se odplyní je již možno provádět jakékoli opravy nebo i zhotovení nové odbočky.



2-4 Schéma „balónování“ a technologie STOPPLE® Equipment [5]

Specialistou v oblasti těchto technologií je v České republice společnost GASCONTROL, společnost s r.o., která využívá patenty společnosti T. D. Williamson Inc. pod obchodními názvy STEELSTOPP™, SHORTSTOPP® a STOPPLE®. Tyto patenty

v podstatě fungují na uvedených principech, s drobnými rozdíly v provedení, a rozdílnými technickými parametry (tlak plynu v potrubí, průměr stávajícího potrubí apod.) [5].

Hlavní výhodou je možnost zhotovit odbočku na vysokotlakých plynovodech, proto se využívá „balónování“ zejména u dálkových rozvodů zemního plynu. V hutích je již tato metoda omezena velkými průměry potrubí při nízkotlakém rozvodu plynu (do 5kPa [6])

### 3. Topné plyny, jejich fyzikální a tepelně technické vlastnosti

**Topný plyn, definice:** „Topné plyny jsou plyny, nebo směsi plynů, které hoří za přítomnosti vzduchu nebo kyslíku a používají se převážně pro výrobu tepla. Topné plyny patří do skupiny plynů, jejichž spalovací charakteristiky jsou ve velké míře podobné a činí je navzájem zaměnitelnými“ [7]

Dříve, než budou rozebrány navrtávky a trhací práce a za jakých důležitých podmínek je lze provádět, je třeba přihlédnout k jednotlivým topným plynům vznikajícím v huti, jejich vlastnostech, zejména pak výbušnosti a jedovatosti, které jsou pro vymezení prací rozhodující.

Ze sledovaných veličin pro speciální plynové práce to jsou zejména:

- chemické složení plynu
- hustota a hutnota
- spalné teplo a výhřevnost
- dolní a horní mez výbušnosti (zápalnosti)

#### Chemické složení

Topné plyny představují směs elementárních složek plynů, které můžeme rozdělit na složky spalitelné (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>), složky inertní (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, Ar, aj.), a složky podporující hoření (O<sub>2</sub>) [4, s.6]

„Pro topné plyny typu svítiplyn se vyjadřují vyšší uhlovodíky jako C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, při čemž lze podle býv. ČSN 38 5554 brát průměrnou hodnotu n = 2,325 a m = 4,47“ [4, s.6]

Objemové podíly jednotlivých složek jsou [4]:

$$\omega_i = \frac{V_i}{V} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}] \quad (1)$$

Pokud vezmeme do úvahy stavovou rovnici plynů rovnice [8]:

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T \quad (2)$$

potom je zřejmé, že pro plyn o stejné hmotnosti m [kg] a stejné měrné plynové konstantě r [Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>] je velikost objemu plynu závislá na teplotě a tlaku. Stejně tak je objem plynu závislý na vlhkosti plynu. Proto pokud je uvedená u plynu číselná hodnota objemu bez udání



stavu, je tento údaj neúplný. Hodnoty uváděné a vypočítané v této práci jsou vždy uváděny při teplotě 20°C a tlaku 101,325 kPa a  $\varphi = 0$  (suchý plyn).

### Hustota VP plynu

Podle Daltonova zákona [4] je celkový tlak směsi plynů roven součtu jednotlivých parciálních tlaků, čili

$$p = \sum_{i=1}^{i=p} p_i \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

$p$  – celkový počet jednotlivých složek ve směsi

$i$  – jednotlivé složky

Z toho plyne, že hustota směsi je suma součinu hustoty a objemových podílů jednotlivých složek:

$$\rho = \sum_{i=1}^{i=p} \rho_i \cdot \omega_i \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (4)$$

$\rho_i$  – hustota složky, použité hodnoty pro výpočty dále z tabulek [4, příloha č.1] uvedené v tab. 3-1

$\omega_i$  – objemové složky plynu

### Hutnota

V literatuře označována také jako relativní hustota, nebo také hutnost. Viz. vztah (5), tato veličina udává zda je plyn lehčí nebo těžší než vzduch. Toto je důležitý ukazatel při úniku plynu z rozvodů a kde se bude plyn shromažďovat [4].

$$d = \frac{\rho_{(n)}}{\rho_{vzd(n)}} \quad [-] \quad (5)$$

$$\rho_{vzd} = 1,293 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad [8, \text{str.81}]$$

### Spalné teplo a výhřevnost

Určí se z objemových podílů hořlavých složek ( $\omega_{iH}$ ) a jejich výhřevností (spal. tepla), zpravidla se určují za normálních podmínek a  $\varphi=0$ :

$$\text{Spalné teplo} \quad Q_s = \sum_{i=1}^{i=h} Q_{Si} \cdot \omega_{iH} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (6)$$

$$\text{Výhřevnost} \quad Q_i = \sum_{i=1}^{i=h} Q_{ii} \cdot \omega_{iH} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (7)$$

kde  $h$  je počet hořlavých složek v plynu. Hodnoty spalného tepla a výhřevnosti složek pro výpočty jsou převzaty z tabulek [4, příloha č.1], viz.tab.3-1.

Druh plynu	hustota	výhřevnost	spalné teplo
	kg.m <sup>-3</sup> <sub>(n)</sub>	kJ.m <sup>-3</sup> <sub>(n)</sub>	kJ.m <sup>-3</sup> <sub>(n)</sub>
vodík – H <sub>2</sub>	0,0809	10 785	12 745
Oxid uhelnatý - CO	1,2506	12 635	12 635
metan – CH <sub>4</sub>	0,7174	35 880	39 815
propan – C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,0102	93 180	101 205
n-butan – C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2,703	123 565	133 795
Uhlovodíky -C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	1,422	62 048	67 000

tab. 3-1 [4]

### Meze výbušnosti

Jsou velmi důležité hodnoty pro posouzení možnosti výbuchu plynu v ovzduší, či uzavřeném prostoru. Meze výbušnosti jsou totožné s mezemi zápalnosti. „Aby došlo k trvalému hoření plynu, musí být směs plynu se spalovacím vzduchem v určitém poměru tak, aby teplo vzniklé hořením ohřálo směs paliva a vzduchu nad zápalnou teplotu“ [4, str.4]. Existuje tzv.

**dolní mez výbušnosti** – představuje minimální objemovou koncentraci hořlavého plynu ve směsi se vzduchem nebo kyslíkem, která již stačí k tomu, aby se ve směsi šířil plamen samovolně a docházelo tak i k výbuchu [3]. Označuje se  $K_d$  [%]

**horní mez výbušnosti** – určuje maximální objemovou koncentraci hořlavého plynu se vzduchem nebo kyslíkem, ve které se plamen ještě samovolně šíří a dochází tak i k výbuchu [3]. Označuje se  $K_h$  [%]

Dolní mez:

$$K_d = \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{d-\check{c}} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{d-\check{c}} \quad [\%] \quad (8)$$

B - korekce meze zápalnosti na nehořlavé složky, vztah (9)

$K_{d-\check{c}}$  – spodní mez zápalnosti čistých hořlavých složek, rovnice (10)

$$B = (\omega_{CO_2} + \omega_{N_2} + \omega_{H_2O}) \cdot 100 \quad [\%] \quad (9)$$

$$K_{d-\check{c}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^h \frac{\omega_{i-\check{c}}}{K_{d-i}}} \quad [\%] \quad (10)$$

h – počet hořlavých složek

$\omega_{i-\check{c}}$  – objemové podíly jednotlivých hořlavých složek v čisté hořlavině, vztah (11)

$K_{d-i}$  – dolní meze výbušnosti jednotlivých složek při teplotě 20 °C je uvedena v tabulce 3-2 [4, str.4]

$$\omega_{i-\varepsilon} = \frac{\omega_{iH}}{\sum_{i=1}^{i=h} \omega_{iH}} \quad [-] \quad (11)$$

Horní mez:

Vypočte se ze vztahů (8) až (11) pro dolní mez, akorát dosazujeme hodnoty z tabulky 3-2 pro horní mez do vztahu (10).

Vztahy (6) až (11) jsou převzaty z [4].

Druh plynu	K <sub>d</sub> [%]	K <sub>h</sub> [%]
H <sub>2</sub>	4,0	75,9
CO	12,5	74,2
CH <sub>4</sub>	5,0	15,0
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	3,0	28,6

tab. 3-2 horní a dolní mez výbušnosti složek topných plynů [4, s. 9]

Topné plyny, uváděné níže, jsou plyny vznikající v hutních závodech, tedy vysokopecní, koksárenský, konvertorový plyn a je k nim připočítán zemní plyn, který sice není výrobkem huti, ale je často využíván k obohacování ostatních topných plynů, k stabilizaci a zapalování hořáků na spotřebičích atd. Protože tyto plyny (vyjma zemního plynu) mají velmi proměnlivé složení, což záleží zejména na technologickém způsobu výroby hlavních produktů (surové železo, ocel, koks), nelze stanovit jeden druh plynu (např. koksárenský plyn) pro všechny hutní agregáty na světě. Mají společné pouze některé vlastnosti a skládají se ze stejných hlavních složek, jejich procentuální zastoupení je už ale různé. Proto např. koksárenský plyn vyráběný v koksovně v Číně, může mít jiné složení než koks. plyn vyráběný v ostravských hutích. V této práci jsou použita data, která byla naměřena v huti Třineckých Železáren, a.s, kde vznikají, jímají se a používají všechny tři hutní plyny.

Koksárenský plyn (dále jen KP), vysokopecní plyn (VP) a konvertorový plyn (KOP) obsahují všechny ve větší či menší míře oxid uhelnatý, který je velmi jedovatý a má pro bezpečnost prací na plynových zařízeních velký význam. Proto je mu věnovaná samostatná kapitola.

### 3.1 Vysokopecní plyn

Je odebírán jako vedlejší produkt při výrobě surového železa v kuchtě vysoké pece. Má nejnižší výhřevnost z běžných topných plynů. Hlavní složky tohoto plynu jsou N<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> z nehořlavých složek a CO a H<sub>2</sub> ze složek spalitelných. VP plyn obsahuje ještě další složky (uhlovodíky, oxidy), jejich množství je ovšem zanedbatelné ( $\sum \omega_i < 1\%$ ), proto pro následující výpočty nebudou uvažovány.

V příloze č.1 jsou hodnoty naměřené chromatografem za měsíc červenec 2009. Je vidět, že objemové podíly jednotlivých složek VP plynu kolísají v čase (to je dáno technologickým procesem výroby surového železa). Jako reprezentativní hodnoty složení VP plynu volím průměrné hodnoty z naměřených dat, zaokrouhlené na dvě desetinná místa, tak, aby celkový součet dával 100%. Souhrn sledovaných fyzikálních vlastností VP plynu a chemického složení je uveden v tabulce 3-3. Hodnoty veličin v tabulce jsou vzaty z výpočtů (kap.6).

Fyzikální a chemické vlastnosti vysokopecního plynu									
Chemické složení $\omega_i$ [%]				$Q_i$	$Q_s$	$\rho$	d	$K_d$	$K_h$
složky spalitelné		složky inertní		[kJ.m <sup>-3</sup> ]	[kJ.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[-]	[%]	[%]
CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	3018,3	3057,3	1,38	1,067	33	92
22,19	1,99	20,94	54,88						

tab. 3-3

Z tabulky je vidět, že výhřevnost VP plynu je malá (v porovnání s ostatními plyny), dost špatně hoří, proto je přiváděn samostatně pouze do zařízení, kde je primárně spalované jiné palivo. V hutí se využívá v ohřívacích vzduchu k ohřívání vzduchu, který se dmýchá do vysokých pecí, Energetika Třinec, a.s., ho jímá do mokrého plynojemu a spaluje ve třech kotlích na teplárně (ovšem spolu s dalšími plyny), je také přidáván do fluidních kotlů. Většina ho je směšována spolu s dalšími hutními plyny na tzv. „**Směsný plyn**“, který je dále samostatně využíván ve spotřebičích (kap. 3.5) v hutních závodech.

Než se VP plyn dostane do sítě pro další využití, je nutné ho vyčistit, protože sebou nese z vysoké pece velké množství prachu z vsázky. Prvním místem pro čištění bývá tzv. „prašník“ kde je plyn čištěn nahruho na sucho, pak většinou následuje mokré čištění, kdy bývá v „plynočistiřně“ intenzivně sprchován vodou.

Je velmi jedovatý (kolem 22 % CO), a vzhledem k větší hodnotě spodní meze výbušnosti hrozí při úniku VP plynu spíše otrava, než riziko výbuchu. Navíc je jen nepatrně těžší než vzduch, ovšem to jen za předpokladu normálních podmínek, v případě kdy je v místě úniku vítr, plyn má větší teplotu atd. je velmi těžké určit, kterým směrem se bude plynový mrak šířit – v tom spočívá při úniku jeho největší nebezpečí.

### 3.2 Koksárenský plyn

Vzniká jako vedlejší produkt při vysokoteplotní karbonizaci černého uhlí (při výrobě koksu), z běžných hutních plynů je nejvýhřevnější. Hlavními složkami tohoto plynu je H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, a další uhlovodíky označené souhrnně C<sub>N</sub>H<sub>M</sub> ze spalitelných složek, N<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> ze složek nehořlavých a obsahuje i malou část O<sub>2</sub> jakožto složku podporující hoření. Že se v této směsi objevuje kyslík, je zapříčiněno způsobem jímání z koksárenských baterií, kde je plyn nasáván pomocí turbodmychadel (vzniká podtlak), tím je částečně nasáván i vzduch z okolí.

Nejvyšší okamžitá hodnota by neměla překročit 4% obj. a to kvůli riziku vzniku výbušné směsi v rozvodu.

Hodnoty naměřené chromatografem (příloha č. 2) jsou provedené na výstupu z provozu koksovny v TŽ, a.s., tzn. již po vyčištění na chemické části koksovny, kde je zbavován dehtu, benzolu,  $H_2S$ , amoniaku, aromatických uhlovodíků a dalších látek, které jsou dále využity a prodávány jako druhotné suroviny. I přes čištění na chemické části koksovny je nečistota jednou z hlavních nevýhod tohoto plynu (viz dále). Jako reprezentativní hodnoty pro další výpočty fyzikálních veličin opět volím průměrné hodnoty, z naměřených dat uvedených v příloze 2. Souhrn sledovaných fyzikálních vlastností KP plynu a chemického složení je uveden v tabulce 3-4. Hodnoty veličin v tabulce jsou opět vzaty z výpočtů (kap. 6).

<b>Fyzikální a chemické vlastnosti koksárenského plynu</b>						
Chemické složení $\omega_i$ [%]						
složky spalitelné				složky inertní		podporující hoření
$H_2$	$CH_4$	$C_NH_M$	CO	$CO_2$	$N_2$	$O_2$
<b>55,81</b>	<b>24,44</b>	<b>3,46</b>	<b>5,54</b>	<b>2,08</b>	<b>7,05</b>	<b>1,62</b>
$Q_i$ [kJ.m <sup>-3</sup> ]	$Q_s$ [kJ.m <sup>-3</sup> ]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	d [-]	$K_d$ [%]	$K_h$ [%]	
<b>17635</b>	<b>19862</b>	<b>0,49</b>	<b>0,38</b>	<b>4,8</b>	<b>37</b>	

tab. 3-4

Z tabulky opět můžeme vyčíst důležité údaje. Koksárenský plyn je výhřevný a velmi dobře hoří, dříve byl hojně využíván samostatně, jeho dobře vyčištěnou formou je svítiplyn, který byl dříve dodáván i do domácích plynových spotřebičů (od čehož bylo postupem času upuštěno – obsahuje CO, které je velmi jedovaté, viz kap. 3.7 - a byl nahrazen zemním plynem). V hutích bývá používán samostatně dodnes. V Třineckých Železárnách například zásobuje pece v kovárně, využívají ho v tavících pecích sléváren a taky slouží k technologickým ohřevům drobných zařízení na Vysokých pecích, ocelárnách apod. Většina ho je ale spotřebovávána do příměsi tzv. „*Směsného plynu*“ (kap.3.5), zejména z těchto důvodů:

- Má nízkou hodnotu dolní meze výbušnosti, což při úniku plynu do okolí znamená velké riziko výbuchu již při nízkých koncentracích. Za určitých podmínek může při úniku dojít k samovznícení (vlivem statického výboje drobných částecek obsažených v plynu), což představuje obrovské riziko při plynových pracích!
- I když je částečně čištěn a zbavován látek (chemická část koksovny), je nečistý a po čase se začne potrubí zanášet tzv. „naftalenovými úsadami“, které zapříčiňují, že se

koncové větve k hořákům ucpávají a konstrukce energomostu s hlavními řady koksárenského plynu (světlost i DN1200) jsou v průběhu stále víc zatěžovány.

Koksárenský plyn je jedovatý, má svůj charakteristický zápach, snad trochu po zkažených vejcích, je velmi lehký takže v uzavřených prostorách se vždy zdržuje nahoře. Dominantní složkou je vodík, který projde i mikrotrhlinami (ve svarech, na těsnění atd.).

V Třineckých železárnách není KP jímán, což je možné, protože koksárenská baterie představuje poměrně stabilní dodávku plynu bez velkých výkyvů (na rozdíl od např. dodávky VP plynu z Vysokých pecí, která je velmi dynamická), veškeré přebytky jsou pak spalovány na komínovém hořáku do vzduchu.

### 3.3 Konvertorový plyn

Vzniká jako sekundární produkt při výrobě oceli v kyslíkových konvertorových ocelárnách. Jeho získávání je závislé na technologickém procesu výroby. Složení odpadního plynu silně kolísá, odchází ve formě odpadního plynu na komínový hořák, a teprve když jsou splněny požadavky na jeho složení, dojde k přepnutí trojcestného ventilu na odváděcím potrubí z konvertoru a je jímán a dále využíván. Reprezentativními hodnotami budou opět průměrné hodnoty z naměřených dat chromatografem (příloha č. 3). Souhrn sledovaných fyzikálních vlastností KOP a chemického složení je uveden v tabulce 3-5. Hodnoty veličin v tabulce jsou opět vzaty z výpočtů (kap. 6).

Fyzikální a chemické vlastnosti konvertorového plynu					
Chemické složení $\omega_i$ [%]					
složky spalitelné		složky inertní			podporující hoření
CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar	O <sub>2</sub>
<b>59,63</b>	<b>1,33</b>	<b>18,37</b>	<b>20,18</b>	<b>0,43</b>	<b>0,06</b>
$Q_i$ [kJ.m-3]	$Q_s$ [kJ.m-3]	$\rho$ [kg.m-3]	d [-]	$K_d$ [%]	$K_h$ [%]
<b>7677,7</b>	<b>7703,8</b>	<b>1,37</b>	<b>1,06</b>	<b>18,2</b>	<b>82,5</b>

tab. 3-5

Je vidět, že konvertorový plyn má stejně jako vysokopecní plyn hustotu blízkou hustotě vzduchu (velmi nepříjemné při úniku plynu do okolí) a obsah CO je velmi vysoký, takže nám dělá KOP nejjedovatějším z hutních plynů. Jeho dodávka v čase je proměnlivá v závislosti na tom, v které fázi se konvertor (konvertory) nachází při výrobě oceli, takže je jímán do plynojemů. Při jímání odchází silně znečištěný kovovými mechanickými nečistotami, proto bývá ještě před plynojemem čištěn, většinou pomocí elektrostatických odlučovačů.

Samostatně nebývá ve spotřebičích využíván (vzhledem k faktorům uvedeným výše), celý je spotřebován do výroby tzv. „*směsného plynu*“, (kap. 3.5). Při pracích na plynových

zařizování s tímto plynem je třeba dbát zvýšené opatrnosti, zejména vzhledem k jeho jedovatosti, není cítit a koncentrace CO je natolik vysoká, že jeden nádech tohoto plynu (v plné koncentraci) může znamenat smrt!

### 3.4 Zemní plyn

Zemní plyn (ZP) je topný plyn, jenž je do huti nakupován, není tedy „hutním plynem“ jako takovým, vzhledem k jeho dobrým vlastnostem (výhřevnost, velmi málo proměnné složení, stabilní dodávka) bývá často využíván.

Využití ZP je velmi široké, v domácnostech, těžkém i lehkém průmyslu, v energetice. Jeho nevýhodou je cena, proto se hutě snaží v plné míře využívat své palivové DEZ a zemní plyn využívat pouze tam, kde je to nezbytně nutné. Je přidáván do „*směsného plynu*“, pouze ale v případě pokud kolísá dodávka hutních plynů (nebo si podnik nevystačí z dodávkou vlastních plynů), slouží k zapalování hořáku na kotlích, je často přiváděn k stabilizačním hořákům, v huti se využívá i v technologických procesech, kde spalování jiných (méně ušlechtilých) plynů není možné.

V Třineckých Železárnách je ZP využíván i k výrobě tzv. **náhradního koksárenského plynu**, což je směs vysokopecního a zemního plynu smíchávána na výhřevnost koksárenského plynu. Využívá se pouze v případech, kdy spotřeba koksárenského plynu je větší než okamžitá dodávka (dochází k poklesu tlaku v síti bez plynojemu). V tabulce 3-6 jsou uvedeny fyzikální vlastnosti, včetně chemického složení zemního plynu (průměrné hodnoty z údajů ET, a.s.).

Fyzikální a chemické vlastnosti zemního plynu									
Chemické složení $\omega_i$ [%]				$Q_i$	$Q_s$	$\rho$	d	$K_d$	$K_h$
složky spalitelné		složky inertní		[kJ.m <sup>-3</sup> ]	[kJ.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[-]	[%]	[%]
CH <sub>4</sub>	C <sub>N</sub> H <sub>M</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	~35700	~39220	0,7	0,54	5	15
98,38	0,7	0,08	0,84						

tab. 3-6 hodnoty fyzikálních vlastností při teplotě  $\tau=20^0\text{C}$  a vlhkosti  $\phi=0$ , tlak 101 325Pa

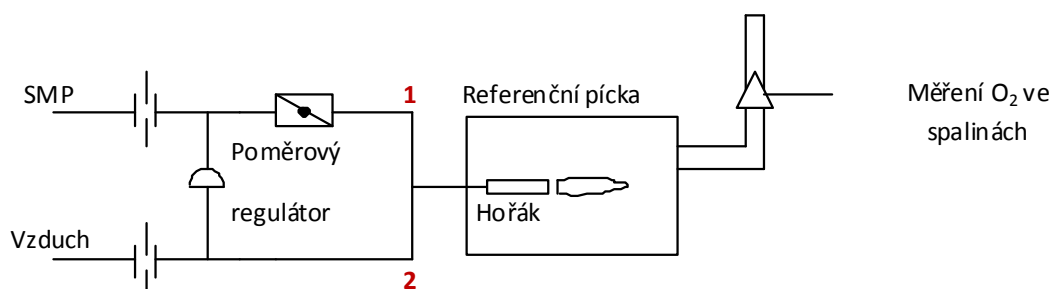
### 3.5 Směsný plyn

Pro každý současný hutní podnik je výhodné maximalizovat využití méně ušlechtilých plynů, které má k dispozici, důležitým faktorem je ekonomická otázka, cena ušlechtilých topných plynů (ZP) je (vztaženo na jednotku chemické energie) vyšší než u méně ušlechtilých plynů (VP, KP, KOP).

Všechny topné plyny vznikající v huti mají (z energetického hlediska) jednu obrovskou nevýhodu, a tou je jejich proměnlivé chemické složení při vzniku, to má za následek proměnlivou výhřevnost, mění se spalovací poměry ve směsi se vzduchem atd. Dále nelze, nebo je nevýhodné využívat některých „hutních“ plynů samostatně. Velmi složité je i

nastavení energetické bilance, pokud bychom chtěli hutní plyny využívat pouze samostatně. Proto pro zvětšení efektivity využití neušlechtilých hutních plynů je výhodné a účelné, smíchávat tyto plyny tak, aby pokud možno vznikl plyn o určitých málo proměnlivých veličinách – stejná výhřevnost, konstantní spotřeba spalovacího vzduchu (důležité veličiny pro spalování).

V Třineckých železárnách je smíchávání prováděno za pomoci referenční pícky (viz náčrtek), kde je regulace prováděna na konstantní spotřebu spalovacího vzduchu. Pokud není v provozu, je regulován směsný plyn podle Wobbeho čísla nastaveného v rozmezí 8 - 8,8 MJ.m<sup>-3</sup> v závislosti na množství KOP a ZP.



3-1 Schéma referenční pícky

Princip smíchávání hutních plynů na plyn směsný funguje za pomoci referenční pícky (v TŽ) takto: Do směsné stanice vstupuje KOP pod tlakem 2,5 kPa, do něj je napojen vysokopecní plyn a koksárenský plyn (+ zemní při nedostatku KP), do referenční pícky vstupuje směsný plyn (dále jen SMP) se vzduchem a to v poměru **vzduch:SMP 2:1**, tato směs je spalována a na výstupu spalin se měří obsah kyslíku (objemových) ve spalinách, který se nechává okolo 1,5%, jakmile dojde k úbytku tlaku KOP ve směsce pod 2,5 kPa otvírá se VP a doregulovává na 2,5 kPa. Tím se ovšem změní spalovací poměr v ref. pícce → otvírá se KP tak aby spalovací poměr 2:1 zůstal zachován.

Pro výpočty základních vlastností SMP budou použity průměrné hodnoty z naměřeného složení chromatografem (příloha č. 4). Souhrn sledovaných fyzikálních vlastností SMP a chemického složení je uveden v tabulce 3-7. Hodnoty veličin v tabulce jsou opět vzaty z výpočtů (kap. 6).

Fyzikální a chemické vlastnosti směsného plynu							
Chemické složení $\omega_i$ [%]							
H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>N</sub> H <sub>M</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
12,55	9,25	0,58	0,03	29,08	15,21	32,47	0,83
Q <sub>i</sub>	Q <sub>s</sub>	$\rho$	d	K <sub>d</sub>		K <sub>h</sub>	
[kJ.m <sup>-3</sup> ]	[kJ.m <sup>-3</sup> ]	[kg.m <sup>-3</sup> ]	[-]	[%]		[%]	
8735	9376	1,17	0,9	12,3		59,1	

tab. 3-7



### 3.6 Záměnnost topných plynů

Vzhledem k tomu, jak se vyvíjí hutní výroba, a zdokonalují technologické procesy výroby, mění se i složení palivových DEZ. Z tohoto důvodu je vhodné sledovat, zda plynový spotřebič (zejména hořáky na spotřebiči) zůstávají konstrukčně vyhovující pro změněnou skladbu plynu (nebo taky obráceně). „Pro posouzení vhodnosti změny ve složení plynu proti původnímu, na který byl plynový spotřebič konstruován, se používají tzv. kritériální veličiny **Wobbého číslo a Spalovací potenciál.**“ [4].

#### Wobbého číslo

$$W_s = \frac{Q_s}{\sqrt{d}} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}] \quad W_s \dots \dots \text{vyšší Wobbého číslo}$$
$$W_i = \frac{Q_i}{\sqrt{d}} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}] \quad W_i \dots \dots \text{nižší Wobbého číslo} \quad (12)$$

Pro hodnocení záměnnosti topných plynů se používá tzv. Delbourgova metoda, kde se tzv. korigované Wobbého číslo, vypočte z vyššího Wobbého čísla pomocí rovnice [9]:

$$W' = W_s \cdot K_1 \cdot K_2 = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{Q_s}{\sqrt{d}} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (13)$$

kde  $K_1$  a  $K_2$  jsou korekční faktory závislé na složení plynu, jejich hodnoty lze nalézt například ve staré ČSN 38 5543 nebo taky např. v [10].

#### Potenciál spalování

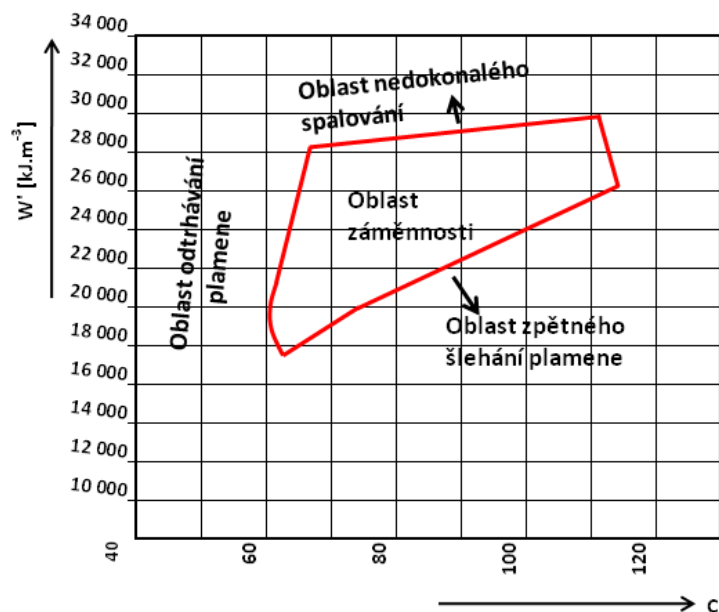
Potenciál spalování  $C$ , charakterizující rychlost spalování plynu je určen vztahem:

$$C = u \cdot \frac{(\omega_{H_2} + 0,3 \cdot \omega_{CH_4} + 0,7 \cdot \omega_{CO} + v \cdot \sum a_i \cdot \omega_{C_{H_i}}) 100}{\sqrt{d}} \quad (14)$$

kde  $u, v$  jsou koeficienty charakterizující druh plynu [9],  $a_i$  jsou korekční koeficienty pro vyšší uhlovodíky a lze je nalézt v ČSN 38 5543 nebo v [10].

#### Diagram záměnnosti

Pružnost hořáků umožňuje prakticky spalovat vyhovujícím způsobem i odlišné topné plyny s kolísajícími parametry  $W'$  a  $C$  v určitém rozmezí. Dovolený rozsah příslušných hodnot  $W'$  a  $C$  nám prakticky charakterizují hranice záměnnosti. **Tyto hranice záměnnosti mají relativní platnost a jsou vázány na druh hořáku a topný plyn, dále i na potřebné technologické požadavky.** Rozsah příslušných hodnot  $W'$  a  $C$  lze velmi dobře vyznačit v Delbourgově diagramu záměnnosti (obr. 3-2). Každý topný plyn je pak v tomto diagramu charakterizován bodem. Je-li hořák správně seřízen na seřizovací plyn, pak lze vzhledem k bodu příslušejícímu tomuto plynu vyznačit v tomto diagramu hranice příslušných odchylek  $W'$  a  $C$ , které ještě nezpůsobí závadnou činnost hořáku. Všechny topné plyny, ležící v oblasti vymezené těmito hranicemi, jsou pak pro daný druh hořáku a dané podmínky záměnné.



3-2 Delbourgův diagram záměnnosti [9]

Chceme-li tedy posoudit určitý plyn, zda vyhovuje podmínkám záměnnosti, vypočteme si pro tento příslušný plyn jeho hodnoty  $W'$  a  $C$ . V diagramu záměnnosti přísluší těmto hodnotám bod, z jehož umístění vzhledem k hranicím záměnnosti lze soudit, jak se bude plyn v příslušných spotřebičích chovat, nebo leží-li tento charakteristický bod mimo tyto hranice, jaké závady v činnosti spotřebičů vzniknou.

Vymezit oblast pro spotřebiče průmyslového typu je velmi obtížné, protože těchto hořáků existuje velké množství různých typů různých výrobců, od jednoduchých hořáků souproutých až po hořáky s dokonalým promíšením plynu a spalovacího vzduchu. Všeobecně platí, že u hořáků s nuceným přívodem spalovacího vzduchu může dojít prakticky pouze k utržení plamene od ústí hořáku v důsledku vysoké výtokové rychlosti plynu, event. směsi plynu a vzduchu, resp. v důsledku nízké rychlosti šíření plamene, tj. potenciálu spalování  $C$ . Čím je dokonalejší promíšení plynu se vzduchem, tím je hořák méně citlivý na možnost utržení plamene a je možno také složení plynu měnit v širším rozmezí potenciálu spalování, aniž by došlo k utržení plamene [4].

Pro průmyslové hořáky tedy platí, že každý takový typ hořáku je nutno zkoušet zvlášť, příp. provést modelové zkoušky chování spalovacího pochodu při změnách složení topného plynu.

### **3.7 Oxid uhelnatý a jeho účinky na lidský organismus**

Oxid uhelnatý (CO) je bezbarvý plyn, bez chuti a bez zápachu, je nepatrně lehčí než vzduch a má silné redukční vlastnosti. Je hořlavý a výbušný (viz. kapitoly výše). Ve vodě je jen málo rozpustný. Vyskytuje se všude tam, kde jsou podmínky pro neúplné spalování látek, které obsahují uhlík (buď volný, nebo vázaný v molekule).

Jeho jedovatost je způsobená schopností vázat se na krevní barvivo hemoglobin a to až 200x lépe než kyslík. Vzniká tzv. karboxyhemoglobin (COHb), čímž znemožňuje přenos kyslíku v podobě oxyhemoglobinu z plic do tkání. Příznaky při otravě oxidem uhelnatým jsou uvedeny v tab. 3-8, kde jsou v levém sloupci uvedeny koncentrace karboxyhemoglobinu v krvi, a v pravém příznaky. Nutno poznamenat, že již koncentrace 0,05 %, tj. 500 ppm (asi 450 mg CO/m<sup>3</sup>) může zablokovat funkci u 50 % hemoglobinu s následným kolapsem a smrtí.

<b>koncentrace v %</b>	<b>zdravotní následky</b>
<b>2,3 - 4,3</b>	rychlejší nástup vyčerpání při tělesné zátěži u mladých zdravých mužů
<b>2,9 - 4,5</b>	časnější nástup bolestí při tělesné zátěži u pacientů a anginou pectoris
<b>5,0 - 7,6</b>	snížená vigilita u zdravých dobrovolníků
<b>5 - 10</b>	poruchy vidění, schopnosti učení, poruchy sensomotoriky komplexně
<b>10</b>	rozšíření kožních cév, pocit napětí na čele
<b>20</b>	bolesti ve spáncích, poruchy dýchání
<b>30</b>	bolesti hlavy, snadná unavitelnost, poruchy úsudku, závratě, poruchy vidění
<b>40 - 50</b>	bolest hlavy, kolaps, mdloby
<b>60 - 70</b>	bezvědomí, intermitentní křeče, poruchy dýchání
<b>80</b>	rychlá smrt

tab. 3-8 [12]

Vzhledem k tomu, že ve všech topných plynech vznikajících při hutní výrobě je tento plyn obsažen, je třeba stanovit podmínky pro bezpečnost při pracích na zařízeních s těmito plyny. Na základě Coburnova modelu jsou navrženy následující směrnice předcházející tomu, aby koncentrace karboxyhemoglobinu přesahovaly u obecné populace nekuřáků 2,5 až 3 % [12, 13]:

- do 10 ppm      8hodinová pracovní doba
- do 30 ppm      max 1 hodina
- do 50 ppm      max 30min

*1ppm=0,0001% což odpovídá asi 1,145mg/m<sup>3</sup> CO v atmosféře.*

U nás v České Republice platí Nařízení vlády č. 361/2007 [14], kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. V příloze č. 2 k tomuto NV je v části A seznam chemických látek a jejich přípustné expoziční limity (PEL) a nejvyšší přípustné koncentrace (NPK-P), pro oxid uhelnatý:

	mg.m <sup>-3</sup>	ppm
PEL	30	26
NPK-P	150	130

tab. 3-9 [14, příloha č.2]

Při koncentracích nad 130ppm je nutno urychleně opustit prostor, veškeré speciální práce prováděné při koncentracích vyšších mohou provádět pouze zaměstnanci řádně proškolení se speciální dýchací technikou k tomu uzpůsobenou a na základě dalších bezpečnostních opatření, které stanoví provozovatel v souladu s vyhláškou 406/2004 Sb [1].

V kapitole 3. jsou uvedeny základní fyzikální a tepelně-technické vlastnosti topných plynů používaných v hutí, jejich souhrn je uveden v **příloze č. 5**. Výčet tepelně technických vlastností není zdaleka vyčerpán, jsou zde uvedeny pouze ty, jež by mohly být nějakým způsobem zásadní pro zhotovování nových potrubních odboček za provozu (pod tlakem). Proto zde není počítáno a rozebíráno např. složení spalin, spalovací poměry ve směsi se vzduchem atd. Tyto veličiny jsou jistě zásadní v oblasti tepelné techniky, pro zhotovování odboček jsou však druhořadé.

#### 4. Doprava topných plynů potrubím

U hutních plynů se výhradně používá tento druh dopravy. Je vhodný i na velké vzdálenosti, řádově tisíce kilometrů, ve velkých průmyslových podnicích jsou to i desítky kilometrů potrubních rozvodů do průměru i 3000mm. Doprava plynu se uskutečňuje přetlakem plynu na začátku potrubí, který se vyvozuje stlačením plynu v kompresorech, u nízkotlakých rozvodů ve ventilátorech [4]. Podle přetlaku plynu v potrubí se rozlišují:

- Plynovody s velmi vysokým tlakem – VVT – 4 až 10 MPa včetně (ČSN 386410)
- Plynovody s vysokým tlakem – VT – 0,3 až 4 MPa včetně (ČSN 386410)
- Plynovody středotlaké – ST – 5 kPa až 0,3 včetně (ČSN 386413)
- Plynovody nízkotlaké – NT – pracovní přetlak do 5 kPa včetně (ČSN 386411)
- Plynovody v průmyslových závodech – pracovní přetlak do 0,3 MPa (ČSN 386420), zde se pak rozlišují rozvody nízko a středotlaké s pracovními přetlaky jako u st a nt.

POZN: Toto rozdělení je podle starých norem, podle aktuálně platných ČSN EN je rozdělení mírně odlišné (viz. kap. 5), vzhledem k tomu, že je přehledné, jednoduché a v plynárenské praxi pořád používané, je použito i v této práci výše uvedené rozdělení.

Technickými parametry, charakterizujícími potrubí jsou **jmenovitá světlost**, označení DN (dřívější Js), řada rozměrů dle ČSN 130015 a **jmenovitý tlak**, označení PN (dříve Jt), řada tlaků dle ČSN 130010 [4].

## 4.1 Návrh průměru potrubí

Pro výpočet průměru potrubí a jmenovité světlosti vycházíme ze vztahu pro přenášený výkon (chemická energie za jednotku času) [4]:

$$P = \dot{V}_{(n)} \cdot Q_{i(n)} \quad [\text{kW}] \quad (15)$$

Z této rovnice vypočteme objemový průtok plynu  $V_{(n)}$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]. Pro hmotový průtok platí:

$$m = V_{(n)} \cdot \rho_{(n)} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot c \cdot \rho \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (16)$$

Hustota  $\rho$  je při skutečném tlaku a skutečné teplotě v potrubí, vypočteme ji ze stavové rovnice z hustoty plynu při normálních podmínkách, tj.  $\rho_{(n)}$ . Z rovnice (16) pak můžeme vypočítat vnitřní průměr potrubí [4]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{(n)} \cdot \rho_{(n)}}{\pi \cdot c \cdot \rho}} \quad [\text{m}] \quad (17)$$

„Rychlost plynu volíme obvykle v rozmezí 10-15  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , pro krátké úseky může být až 20  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Průměr potrubí DN se pak samozřejmě volí podle normy (ČSN 130015) a to buď nejbližší vyšší, nebo nejbližší nižší, ale tak aby skutečná rychlost v potrubí nebyla příliš vysoká.“ [4, s. 24]. Jmenovitý tlak v potrubí PN se volí podle nejvyššího provozního tlaku <sup>3)</sup> podle normy (ČSN 130010). Číselné hodnoty jmenovitých tlaků odpovídají přetlaku v barech . (1 bar = 0,1 MPa). Dané jmenovité světlosti a jmenovitému tlaku odpovídá vždy příslušná tloušťka potrubí.

---

<sup>3)</sup> nejvyšší provozní tlak (*maximum operating pressure (MOP)*) je nejvyšší tlak, při kterém je možné zařízení provozovat za běžných podmínek nepřetržitě.[16]

## 4.2 Vliv tlakových ztrát

Vzhledem k tomu, že v potrubí dochází k tlakovým ztrátám (vlivem vnitřního tření), je nutné do návrhu průměru s tímto faktorem počítat, tak aby na konci potrubí byl ještě dostatečný tlak pro připojené plynové spotřebiče. Je to důležité zejména u nízkotlakých plynovodů. Při stanovení tlakových ztrát se vychází z teorie proudění vazkých tekutin, je rozebrána např. v [4, s.25] a [15].

Vzhledem k tomu, že potrubní rozvody topných plynů v huti se pohybují převážně v oblastech nízkých tlaků, je zde uveden způsob, při němž se změna hustoty vlivem tlakových ztrát může zanedbat (tlaková ztráta nepřevyšuje 5kPa). Potom je možno považovat plyn za kapalinu o  $\rho = \text{konst.}$  a tlakovou ztrátu počítat jako pro nestlačitelné tekutiny z rovnice [4]:

$$\Delta p_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \rho \quad [\text{Pa}] \quad (18)$$

Velikost součinitele tření  $\lambda$  je závislá na druhu proudění, které může být laminární, nerozvinuté turbulentní a rozvinuté turbulentní proudění. Druh proudění udává Reynoldsovo číslo. Při laminárním proudění ( $\text{Re} < 2320$ ) je součinitel tření  $\lambda$  závislý jen na Reynoldsově čísle [4]:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad [-] \quad (19)$$

$$\text{Re} = \frac{c \cdot d}{\nu} \quad [-] \quad (20)$$

kde  $\nu$  je kinematická viskozita plynu [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

U nerozvinutého turbulentního proudění závisí součinitel tření kromě Reynoldsova čísla i na tzv. poměrné drsnosti  $\varepsilon/d$  [-], kde  $\varepsilon$  je střední nerovnost vnitřního povrchu potrubí [m] [4] a u rozvinutého turbulentního proudění je pak  $\lambda$  závislá jen na poměrné drsnosti. Pro výpočty součinitele tření  $\lambda$  v oblasti turbulentního proudění existuje řada vzorců různých autorů, pro výpočty tlakových ztrát v rozvodech topných plynů je možno použít diagram, případně vztahy uvedené v dříve platné oborové normě ON 386455 Stanovení průtočného průřezu potrubí z hlediska proudění plynu [4], zde jsou uvedeny 4 možnosti pro numerický výpočet:

- Pro hladké trubky a turbulentní proudění tzv. Blasiusův vztah, platí pro  $2320 < \text{Re} < 80000$ :

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \quad [-] \quad (21)$$

- Podle Altšula pro nerozvinuté turbulentní proudění:

$$\lambda = 0,1 \cdot \left( \frac{100}{\text{Re}} + \frac{\varepsilon}{d} \right)^{0,25} \quad [-] \quad (22)$$

- Podle Frenkela (taktéž pro nerozvinuté proudění):

$$\lambda = \frac{1}{\left[ 2 \log \left( \left( \frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} + 0,27 \frac{\varepsilon}{d} \right) \right]^2} \quad [-] \quad (23)$$

- Pro oblast rozvinutého turbulentního proudění podle Gončarova:

$$\lambda = \frac{1}{\left[ 2 \cdot \log \left( 3,71 \cdot \frac{1}{\varepsilon/d} \right) \right]^2} \quad [-] \quad (24)$$

Druh potrubí; zdiva	Stav potrubí; zdiva	$\varepsilon$ [mm]
Ocelové bezešvé	nové po delším provozu vyčištěné korodovaný stav vodovodní po delším provozu	0,01 až 0,07 0,15 až 0,40 0,40 až 0,90 1,20 až 1,50
Ocelové svařované	nové po delším provozu vyčištěné korodovaný stav	0,03 až 0,10 0,10 až 0,20 0,10 až 0,90
Ocelové nýtované	nové korodované	0,50 až 3,00 3,00 až 6,00
Ocelové pozinkované	nové po několika letech provozu	0,10 až 0,20 0,40 až 0,70
Litinové	nové korodovaný stav velmi zkorodované a inkrustované	0,15 až 0,30 1,00 až 1,50 2,00 až 4,00
Tažené: skleněné, měděné, mosazné, bronzové, hliníkové, olověné, z plastů	nové, technicky hladké	0,001 5 až 0,005
Přezbové Kožené Azbestocementové Eternitové Dřevěné Drenážní Betonové	nové nové nové provozované různý provozované nové	0,01 až 0,03 0,15 až 0,20 0,10 až 0,50 0,40 až 0,60 0,20 až 3,00 0,40 až 3,00 0,30 až 3,00
Tesaný kámen Cihla obyčejná Cihla glazurovaná	provozované provozované provozované	1,00 až 6,00 0,80 až 6,00 0,45 až 3,00

tab. 4-1 ekvivalentní drsnost potrubí, zdiva [4],[15]

### 4.3 Tloušťka stěny potrubí

Návrh tloušťky stěny je závislý na jmenovité světlosti, jmenovitém tlaku a použitém druhu materiálu pro potrubí. Je také nutno přihlídnout k vlivu vnějších sil (vlastní tíže, apod.). V tab.4-2 jsou uvedené hodnoty, převzaty z ČSN EN 12007-3 Zásobování plynem – Plynovody s nejvyšším provozním tlakem do 16 barů včetně [18].

Rozměry v mm								
Jmenovitá světlost DN	25	40	50	65	80	100	125	150
Vnější průměr D	33,7	48,3	60,3	76,1	88,9	114,3	139,7	168,3
Jmenovitá tloušťka stěny s	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>3,2</b>	<b>3,2</b>	<b>3,6</b>	<b>4,0</b>
Jmenovitá světlost DN	200	250	300	350	400	500	600	>600
Vnější průměr D	219,1	273	323,9	355,6	406,4	508	610	>610
Jmenovitá tloušťka stěny s	<b>4,5</b>	<b>5,0</b>	<b>5,6</b>	<b>5,6</b>	<b>6,3</b>	<b>6,3</b>	<b>6,3</b>	<b>1% z D</b>

tab. 4-2 [18]

„Pokud je jmenovitá tloušťka stěny rovna, nebo je větší, než hodnota uvedená v tab. 4-2 není nutno provádět pevnostní výpočet z hlediska vnitřního tlaku“ [18]. V některých

případech je dobré zvážit použití trubek s větší tloušťkou stěny (tam kde je potrubí vystaveno nadměrnému namáhání vnějšími silami). Pro trubky se světlostí DN1600 a větší musí být kritéria pro trubky dohodnuta mezi provozovatelem plynovodu a výrobcem (potrubí).

V případě, že se uvažuje s použitím trubek s menší tloušťkou, než je uvedeno v tab. 4-2, musí se provést pevnostní výpočet [18]:

$$T_{\min} = \frac{DP \cdot D}{20 \cdot \sigma_p} \quad [\text{mm}] \quad (25)$$

$$\text{a platí } \sigma_p \leq f_0 \cdot R_{t0,5} \quad [\text{N.mm}^{-2}] \quad (26)$$

$T_{\min}$  – vypočtená nejmenší tloušťka [mm]

DP – výpočtový tlak v barech

D – vnější průměr [mm], pokud je předem znám  $D_i$ , má být D roven  $D_i + 2T_{\min}$ ;  $D_i$  je vnitřní průměr [mm]

$\sigma_p$  – měrné nejvyšší obvodové napětí [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]

$f_0$  – výpočtový součinitel [-]

$R_{t0,5}$  – nejmenší konvenční mez kluzu [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]

Největší výpočtový součinitel pro vnitřní tlaky v uvažovaných úsecích potrubí je 0,45 ( $f_0$ =převrácená hodnota součinitele bezpečnosti). Tento výpočet platí, pokud je teplota nižší než 60°C [16], pevnostní výpočty potrubí jsou rozebírány v [2].

## 5. Technické normy, legislativa a bezpečnost při plynových pracích

Podle vyhlášky č.21/1979 Sb. kterou se určují vyhrazená plynová zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti [19], spadají zařízení pro rozvod plynů (mimo jiné) do kategorie vyhrazených plynových zařízení. Proto je třeba při montážích, opravách, údržbách, obsluze a revizích dbát ustanovení daných touto vyhláškou, zejména:

„Organizace mohou montovat, opravovat zařízení, provádět na něm dodavatelským způsobem revize a zkoušky jen na základě oprávnění. Oprávnění vydává inspektorát bezpečnosti práce (dále jen „orgán. dozoru“) na základě písemné žádosti organizace. Orgán dozoru prověří odbornou způsobilost organizace, zda její technická úroveň a odborná způsobilost jejích pracovníků poskytují záruku, že činnost s ohledem na rozsah požadovaného oprávnění, bude odpovídat požadavkům bezpečnosti práce a technických zařízení“ [19].

Orgán dozoru je samozřejmě oprávněný ověřovat dodržování v souladu s další platnou legislativou a v případě nedodržování zásad na vyhrazených plynových zařízeních oprávnění odebrat.

„Pracovníci pověřeni obsluhou zařízení musí být provozovatelskou organizací (dále jen "provozovatel") seznámeni s předpisy pro obsluhu a se souvisejícími bezpečnostními předpisy, s požárním řádem, poplachovými směrnicemi a musí být zaškoleni v obsluze těchto



zařízení. Před pověřením samostatnou obsluhou zařízení musí být provozovatelem přezkoušen. Provozovatel je povinen určit obsah seznámení a délku (osnovu) zaškolení s ohledem na charakter a rozsah vykonávané činnosti na daném druhu zařízení a ověřovat znalosti pracovníků obsluhy revizním technikem, který má platné osvědčení odborné způsobilosti příslušného druhu a rozsahu jednou za tři roky.“ [19]. Kdo je revizní technik, resp. vymezení jeho pravomocí stanoví vyhláška č.85/1978 o kontrolách revizích a zkouškách plynových zařízení.

Provozovatel je povinen:

- Zajistit, aby kontroly a provozní revize byly vykonávány podle zvláštních předpisů, popřípadě návodů a pokynů výrobce a dodavatele.
- Zajistit, aby montáž a opravy zařízení vykonávala jen oprávněná organizace a obsluhu zařízení jen odborně způsobilí pracovníci.
- Vypracovat do jednoho měsíce od zahájení provozu místní provozní řád podle podkladů v projektové a dodavatelské dokumentaci, návodů výrobce a na základě zkušeností z provozu.
- U zařízení, kde se pracuje s jedovatými a nedýchatelnými plyny, před zahájením provozu zajistit dýchací a oživovací techniku, udržovat ji ve stavu schopném provozu a pro případ nutnosti (havárie, porucha apod.) zajistit protiplynovou nebo záchrannou službu.
- Vést předepsanou technickou dokumentaci, evidenci zařízení a uschovat doklady stanovené právními předpisy nebo technickými normami.

Z výše uvedených ustanovení je zřejmé, že pro plynovody je zpracováno velké množství předpisů pro navrhování, montáž, opravy, uvádění do provozu, školení obsluhy, zabezpečení požární ochrany, bezpečnosti práce aj. Jak se tedy orientovat v současné legislativě s ohledem na zhotovování nových odboček? Navíc v posledních několika letech došlo k relativně velkým změnám norem a předpisů vzhledem ke snaze sjednotit normativní dokumenty s ostatními státy Evropské Unie.

Je třeba zdůraznit, že zařízení pro rozvod plynů jsou pouze částí vyhrazených plynových zařízení (viz. [19]), ovšem s ohledem zaměření této práce je legislativa směřována směrem k problematice zhotovování odboček pod tlakem.

Dřívější ČSN 386410 Plynovody s velmi vysokým a vysokým tlakem, ČSN 386413 Plynovody a přípojky s nízkým a středním tlakem a ČSN 386420 Průmyslové plynovody byly postupně nahrazeny novými: ČSN EN 1594 Zásobování plynem – Plynovody s nejvyšším provozním tlakem nad 16 barů – Funkční požadavky (místo ČSN 386410); ČSN EN 12007 (část 1 až 4) Zásobování plynem – Plynovody s nejvyšším provozním tlakem do 16 barů včetně (místo ČSN 386413) a konečně dlouho očekávaná **ČSN 15001 z ledna roku 2010 Zásobování plynem – Plynovody s provozním tlakem vyšším než 0,5 bar pro průmyslové využití a plynovody s provozním tlakem vyšším než 5bar pro průmyslové a neprůmyslové využití** (nahrazující ČSN 386420).

Tyto nové a „nezávazné“ normy zásadně mění pohled na doposud známou a dle vyjádření starších revizních techniků a plynářů zdravou koncepci rozdělení plynovodů. U dříve platných ČSN (výše uvedených) byly jasně stanoveny hranice systému (nízkotlaký plynovod ten a ten, průmyslový ten a ten...). V zásadě zmizel průmyslový plynovod, pokud se v huti podíváme na rozvody, je jich drtivá většina v oblastech pod 0,5bar (50kPa) což znamená, že se na ně ČSN EN 15001 nevztahuje. Podle odvolávky v této normě je třeba posuzovat tento plynovod podle ČSN EN 1775 Zásobování plynem – plynovody v budovách (!!!) a samozřejmě ještě použiju např. ČSN EN 12007 Zásobování plynem – Plynovody s nejvyšším provozním tlakem do 16 barů včetně.

V oblasti průmyslových plynovodů může ještě pro posuzování pomoci TPG 703 01 <sup>4)</sup> Průmyslové plynovody, které je v současné době v připomínkovém řízení a vyjde snad koncem roku 2010.

Pro stanovení bezpečnostních opatření při plynových pracích zde cituji Nařízení vlády 406/2004 sb. o bližších požadavcích na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu [1]:

„Při uplatňování zásad prevence rizik nebo k zajištění ochrany před výbuchem přijímá zaměstnavatel technická nebo organizační opatření přiměřená povaze provozu v souladu se zásadami, které uplatňuje podle charakteru činnosti v následujícím pořadí:

- předcházení vzniku výbušné atmosféry,
- zabránění iniciace výbušné atmosféry,
- snížení škodlivých účinků výbuchu tak, aby bylo zajištěno zdraví a bezpečnost zaměstnanců.

Technická nebo organizační opatření v případě potřeby zaměstnavatel navzájem kombinuje, popřípadě doplňuje dalšími opatřeními zamezujícími šíření výbuchu. Technická nebo organizační opatření přijatá k prevenci a ochraně před výbuchem zaměstnavatel pravidelně přehodnocuje v jím určených intervalech a bezodkladně při každé změně významné z hlediska zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.“

Podle [1, příloha č. 2] jsou stanoveny další požadavky pro zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu takto:

„Zaměstnancům poskytuje zaměstnavatel v dostatečném rozsahu školení o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu, zejména je seznámí v odpovídajícím rozsahu s dokumentací o ochraně před výbuchem, s preventivními a ochrannými opatřeními a s písemnými pokyny k provedení prací, pokud byly pro dané pracoviště vydány a se způsobem používání osobních ochranných pracovních prostředků. V prostorech s nebezpečím výbuchu, pokud je tak stanoveno v dokumentaci o ochraně před

---

<sup>4)</sup> TPG – technické předpisy zpracované českým plynářským svazem (GAS, s.r.o.)

výbuchem, smí být práce prováděny pouze v souladu s písemnými pokyny vydanými zaměstnavatelem

**Tam, kde je to stanoveno v dokumentaci o ochraně před výbuchem, smí být nebezpečné činnosti, při nichž může vznikat výbušná atmosféra nebo které mohou způsobit iniciaci výbušné atmosféry, stejně jako činnosti, které mohou vzájemným působením s jinou činností vyvolat nebezpečí výbuchu, prováděny pouze na základě písemného příkazu k provedení prací (dále jen "příkaz V").** Zaměstnavatel zavede systém vydávání příkazů V k tomu pověřeným zaměstnancem tak, aby příkaz V byl vydán před zahájením výkonu práce. Zaměstnanci, kteří jsou v příkazu V určení k provádění prací, musí být předem prokazatelně seznámeni s obsahem příkazu V a s výstražnými signály které budou na pracovišti použity k varování před ohrožením výbuchem.“

Příkaz V musí obsahovat hlavně tyto náležitosti:

- datum vydání a dobu platnosti příkazu,
- termín zahájení výkonu práce popřípadě přerušení práce (datum, hodina),
- termín ukončení práce (datum, hodina) stvrzený podpisy vedoucího práce a osoby pracoviště přejímající,
- název a druh práce a vymezení prostoru, kde bude práce vykonávána,
- pokyny k zajištění pracoviště k ochraně před vznikem výbušné atmosféry popřípadě k jeho uvedení do původního stavu,
- stanovení opatření k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, která musí být provedena před zahájením práce,
- seznam a popis ochranných a zásahových prostředků pro případ zdolávání mimořádných událostí, například věcných prostředků požární ochrany,
- jméno a příjmení a podpis oprávněného zaměstnance, který příkaz zpracoval popřípadě vydal,
- jméno a příjmení a podpis vedoucího práce, který za provedení práce odpovídá a který příkaz převzal,
- jména a příjmení osob, které budou práci vykonávat, a jejich podpisy, kterými tyto osoby stvrzují, že byly náležitě poučeny, seznámeny se způsobem zajišťování pracoviště a srozuměny se způsobem provedení práce,
- další nezbytné údaje, jako je například uvedení, že práce je vykonávána pod dozorem nebo pod dohledem nebo určení osoby, pověřené dozorem nebo dohledem nad výkonem práce nebo zápis o předání pracoviště.

Zaměstnavatel je dále povinen při pracích s předvídatelným únikem nebo uvolněním hořlavého plynu, který může způsobit výbuch, usměrňovat tento plyn do prostoru kde nikoho neohrozí, či nedojde k iniciaci, případně pokud to není možné, jinak předcházet ohrožení zdraví osob a majetku. Pokud jsou zaměstnanci při práci v prostředí s výbušnou atmosférou vystaveni účinkům chemických Látek a chemických přípravků nebo prachu, které se považují za zdraví škodlivé, musí zaměstnavatel brát do úvahy další právní předpisy [1]. Při výběru

osobních ochranných pracovních prostředků bere v úvahu také riziko iniciace výbušné atmosféry!

## 6. Výpočet tepelně technických a fyzikálních vlastností topných plynů

Vztahy (2) až (11) pro výpočty v následující kapitole použity z kap. 3.

### VP plyn

$$\begin{aligned}\rho_{VP} &= \rho_{CO} \cdot \omega_{CO} + \rho_{CO_2} \cdot \omega_{CO_2} + \rho_{H_2} \cdot \omega_{H_2} + \rho_{N_2} \cdot \omega_{N_2} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \\ \rho_{VP} &= 1,25 \cdot 0,2224 + 1,977 \cdot 0,2087 + 0,0899 \cdot 0,0198 + 1,251 \cdot 0,5491 \\ \rho_{VP} &\cong 1,38 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}\end{aligned}\tag{27}$$

$$d = \frac{\rho_{VP(n)}}{\rho_{vzd(n)}} = \frac{1,380}{1,293} \cong 1,067\tag{28}$$

$$\begin{aligned}Q_{sVP} &= Q_{sCO} \cdot \omega_{iCO} + Q_{sH_2} \cdot \omega_{iH_2} = 12635 \cdot 0,2224 + 12745 \cdot 0,0198 \\ &\cong 3062,4 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}\end{aligned}\tag{29}$$

$$\begin{aligned}Q_{iVP} &= Q_{iCO} \cdot \omega_{iCO} + Q_{iH_2} \cdot \omega_{iH_2} = 12635 \cdot 0,2224 + 10785 \cdot 0,0198 \\ &\cong 3023,6 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}\end{aligned}\tag{30}$$

$$\omega_{CO-\epsilon} = \frac{\omega_{CO}}{\omega_{CO} + \omega_{H_2}} = \frac{0,2224}{0,2224 + 0,0198} = 0,9182\tag{31}$$

$$\omega_{H_2-\epsilon} = 1 - 0,9182 = 0,0817\tag{32}$$

$$K_{d-\epsilon} = \frac{1}{\frac{\omega_{CO-\epsilon}}{K_{d-CO}} + \frac{\omega_{H_2-\epsilon}}{K_{d-H_2}}} = \frac{1}{\frac{0,9182}{0,125} + \frac{0,0817}{0,04}} \cdot 100 \cong 10,65\%\tag{33}$$

$$K_{h-\epsilon} = \frac{1}{\frac{\omega_{CO-\epsilon}}{K_{h-CO}} + \frac{\omega_{H_2-\epsilon}}{K_{h-H_2}}} = \frac{1}{\frac{0,9182}{0,742} + \frac{0,0817}{0,759}} \cdot 100 \cong 74,34\%\tag{34}$$

$$B = (\omega_{CO_2} + \omega_{N_2}) \cdot 100 = (0,2087 + 0,5491) \cdot 100 = 75,78\%\tag{35}$$

$$K_d = \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{d-\epsilon} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{d-\epsilon} = \frac{\left(1 + \frac{75,78}{100 - 75,78}\right) \cdot 100}{100 + 10,65 \cdot \frac{75,78}{100 - 75,78}} \cdot 10,65 \cong 33\%\tag{36}$$

$$K_h = \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{h-\zeta} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{h-\zeta} = \frac{\left(1 + \frac{75,78}{100 - 75,78}\right) \cdot 100}{100 + 74,34 \cdot \frac{75,78}{100 - 75,78}} \cdot 74,34 \cong 92\% \quad (37)$$

## KP

$$\begin{aligned} \rho_{KP} &= \rho_{H_2} \cdot \omega_{H_2} + \rho_{CH_4} \cdot \omega_{CH_4} + \rho_{C_NH_M} \cdot \omega_{C_NH_M} + \rho_{CO} \cdot \omega_{CO} + \rho_{CO_2} \cdot \omega_{CO_2} + \\ &+ \rho_{N_2} \cdot \omega_{N_2} + \rho_{O_2} \cdot \omega_{O_2} \\ \rho_{KP} &= 0,0809 \cdot 0,5581 + 0,7174 \cdot 0,2444 + 1,422 \cdot 0,0346 + 1,2506 \cdot 0,0554 + \\ &+ 1,977 \cdot 0,0208 + 1,251 \cdot 0,0705 + 0,0162 \cdot 1,429 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \\ \rho_{KP} &\cong 0,49 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned} \quad (38)$$

$$d = \frac{\rho_{KP(n)}}{\rho_{vzd(n)}} = \frac{0,49}{1,293} \cong 0,38 \quad (39)$$

$$\begin{aligned} Q_{sKP} &= Q_{sH_2} \cdot \omega_{iH_2} + Q_{sCH_4} \cdot \omega_{iCH_4} + Q_{sCO} \cdot \omega_{iCO} + Q_{sC_NH_M} \cdot \omega_{iC_NH_M} = \\ &= 12745 \cdot 0,5581 + 39815 \cdot 0,2444 + 12635 \cdot 0,0554 + \\ &+ 67000 \cdot 0,0346 \cong 19861,9 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} Q_{iKP} &= Q_{iH_2} \cdot \omega_{iH_2} + Q_{iCH_4} \cdot \omega_{iCH_4} + Q_{iCO} \cdot \omega_{iCO} + Q_{iC_NH_M} \cdot \omega_{iC_NH_M} = \\ &= 10785 \cdot 0,5581 + 35880 \cdot 0,2444 + 12635 \cdot 0,0554 + \\ &+ 62048 \cdot 0,0346 \cong 17635,0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \omega_{H_2-\zeta} &= \frac{\omega_{H_2}}{\omega_{H_2} + \omega_{CH_4} + \omega_{CO} + \omega_{C_NH_M}} = \frac{0,5581}{0,5581 + 0,2444 + 0,0554 + 0,0346} \cong \\ &\cong 0,6253 \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \omega_{CH_4-\zeta} &= \frac{\omega_{CH_4}}{\omega_{H_2} + \omega_{CH_4} + \omega_{CO} + \omega_{C_NH_M}} = \frac{0,2444}{0,5581 + 0,2444 + 0,0554 + 0,0346} \cong \\ &\cong 0,2738 \end{aligned} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \omega_{CO-\zeta} &= \frac{\omega_{CO}}{\omega_{H_2} + \omega_{CH_4} + \omega_{CO} + \omega_{C_NH_M}} = \frac{0,0554}{0,5581 + 0,2444 + 0,0554 + 0,0346} \cong \\ &\cong 0,0621 \end{aligned} \quad (44)$$

$$\begin{aligned} \omega_{C_NH_M-\zeta} &= \frac{\omega_{C_NH_M}}{\omega_{H_2} + \omega_{CH_4} + \omega_{CO} + \omega_{C_NH_M}} = \frac{0,0346}{0,5581 + 0,2444 + 0,0554 + 0,0346} \cong \\ &\cong 0,0388 \end{aligned} \quad (45)$$

$$K_{d-\dot{c}} = \frac{1}{\frac{\omega_{H_2-\dot{c}}}{K_{d-H_2}} + \frac{\omega_{CH_4-\dot{c}}}{K_{d-CH_4}} + \frac{\omega_{CO-\dot{c}}}{K_{d-CO}} + \frac{\omega_{C_NH_M-\dot{c}}}{K_{d-C_NH_M}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{0,6253}{0,04} + \frac{0,2738}{0,05} + \frac{0,0621}{0,125} + \frac{0,0388}{0,03}} \cdot 100 \cong 4,37\% \quad (46)$$

$$K_{h-\dot{c}} = \frac{1}{\frac{\omega_{H_2-\dot{c}}}{K_{h-H_2}} + \frac{\omega_{CH_4-\dot{c}}}{K_{h-CH_4}} + \frac{\omega_{CO-\dot{c}}}{K_{h-CO}} + \frac{\omega_{C_NH_M-\dot{c}}}{K_{h-C_NH_M}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{0,6253}{0,759} + \frac{0,2738}{0,15} + \frac{0,0621}{0,742} + \frac{0,0388}{0,286}} \cdot 100 \cong 34,86\% \quad (47)$$

$$B = (\omega_{CO_2} + \omega_{N_2}) \cdot 100 = (0,0208 + 0,0705) \cdot 100 = 9,13\% \quad (48)$$

$$K_d = \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{d-\dot{c}} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{d-\dot{c}} = \frac{\left(1 + \frac{9,13}{100 - 9,13}\right) \cdot 100}{100 + 4,37 \cdot \frac{9,13}{100 - 9,13}} \cdot 4,37 \cong 4,8\% \quad (49)$$

$$K_h = \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{h-\dot{c}} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{h-\dot{c}} = \frac{\left(1 + \frac{9,13}{100 - 9,13}\right) \cdot 100}{100 + 34,86 \cdot \frac{9,13}{100 - 9,13}} \cdot 34,86 \cong 37\% \quad (50)$$

## **KOP**

$$\rho_{KOP} = \rho_{CO} \cdot \omega_{CO} + \rho_{CO_2} \cdot \omega_{CO_2} + \rho_{O_2} \cdot \omega_{O_2} + \rho_{H_2} \cdot \omega_{H_2} + \rho_{N_2} \cdot \omega_{N_2} +$$

$$+ \rho_{Ar} \cdot \omega_{Ar} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

$$\rho_{KOP} = 1,2506 \cdot 0,5963 + 1,977 \cdot 0,1837 + 1,429 \cdot 0,0006 + 0,0899 \cdot 0,0133 +$$

$$+ 1,251 \cdot 0,2018 + 1,784 \cdot 0,0043 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

$$\rho_{KOP} \cong 1,37 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (51)$$

$$d = \frac{\rho_{KP(n)}}{\rho_{vzd(n)}} = \frac{1,37}{1,293} \cong 1,06 \quad (52)$$

$$Q_{sKOP} = Q_{sCO} \cdot \omega_{iCO} + Q_{sH_2} \cdot \omega_{iH_2} = 12635 \cdot 0,5963 + 12745 \cdot 0,0133 \cong$$

$$\cong 7703,8 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \quad (53)$$

$$Q_{iKP} = Q_{iCO} \cdot \omega_{iCO} + Q_{iH_2} \cdot \omega_{iH_2} = 12635 \cdot 0,5963 + 10785 \cdot 0,0133 \cong$$

$$\cong 7677,7 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \quad (54)$$

$$\omega_{H_2-\dot{c}} = \frac{\omega_{H_2}}{\omega_{H_2} + \omega_{CO}} = \frac{0,0133}{0,0133 + 0,5963} \cong 0,0218 \quad (55)$$

$$\omega_{CO-\dot{c}} = \frac{\omega_{CO}}{\omega_{H_2} + \omega_{CO}} = \frac{0,5963}{0,0133 + 0,5963} \cong 0,9782 \quad (56)$$

$$K_{d-\dot{c}} = \frac{1}{\frac{\omega_{H_2-\dot{c}}}{K_{d-H_2}} + \frac{\omega_{CO-\dot{c}}}{K_{d-CO}}} = \frac{1}{\frac{0,0218}{0,04} + \frac{0,9782}{0,125}} \cdot 100 \cong 11,95\% \quad (57)$$

$$K_{h-\dot{c}} = \frac{1}{\frac{\omega_{H_2-\dot{c}}}{K_{h-H_2}} + \frac{\omega_{CO-\dot{c}}}{K_{h-CO}}} = \frac{1}{\frac{0,0218}{0,759} + \frac{0,9782}{0,742}} \cdot 100 \cong 74,24\% \quad (58)$$

$$B = (\omega_{CO_2} + \omega_{N_2} + Ar) \cdot 100 = (0,1837 + 0,2018 + 0,0043) \cdot 100 = 38,98\% \quad (59)$$

$$K_d = \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{d-\dot{c}} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{d-\dot{c}} = \frac{\left(1 + \frac{38,98}{100 - 38,98}\right) \cdot 100}{100 + 11,95 \cdot \frac{38,98}{100 - 38,98}} \cdot 11,95 \cong 18,2\% \quad (60)$$

$$K_h = \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{h-\dot{c}} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{h-\dot{c}} = \frac{\left(1 + \frac{38,98}{100 - 38,98}\right) \cdot 100}{100 + 74,24 \cdot \frac{38,98}{100 - 38,98}} \cdot 74,24 \cong 82,5\% \quad (61)$$

## SMP

$$\begin{aligned} \rho_{SMP} &= \rho_{CO} \cdot \omega_{CO} + \rho_{CO_2} \cdot \omega_{CO_2} + \rho_{O_2} \cdot \omega_{O_2} + \rho_{H_2} \cdot \omega_{H_2} + \\ &+ \rho_{N_2} \cdot \omega_{N_2} + \rho_{CH_4} \cdot \omega_{CH_4} + \rho_{C_3H_8} \cdot \omega_{C_3H_8} + \rho_{C_NH_M} \cdot \omega_{C_NH_M} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \\ \rho_{SMP} &= 1,2506 \cdot 0,2908 + 1,977 \cdot 0,1521 + 1,429 \cdot 0,0083 + 0,0899 \cdot 0,1255 + \\ &+ 1,251 \cdot 0,3247 + 0,717 \cdot 0,0925 + 2,010 \cdot 0,0003 + 1,422 \cdot 0,0058 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \\ \rho_{SMP} &\cong 1,17 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned} \quad (62)$$

$$d = \frac{\rho_{SMP(n)}}{\rho_{vzd(n)}} = \frac{1,17}{1,293} \cong 0,9 \quad (63)$$

$$\begin{aligned} Q_{sSMP} &= Q_{sCO} \cdot \omega_{iCO} + Q_{sH_2} \cdot \omega_{iH_2} + Q_{sCH_4} \cdot \omega_{iCH_4} + \\ &+ Q_{sC_3H_8} \cdot \omega_{iC_3H_8} + Q_{sC_NH_M} \cdot \omega_{iC_NH_M} \\ &= 12635 \cdot 0,2908 + 12745 \cdot 0,1255 + 39815 \cdot 0,0925 + 101205 \cdot 0,0003 + \\ &67000 \cdot 0,0058 \cong 9376 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned} \quad (64)$$

$$\begin{aligned}
Q_{iSMP} &= Q_{iCO} \cdot \omega_{iCO} + Q_{iH_2} \cdot \omega_{iH_2} + Q_{iCH_4} \cdot \omega_{iCH_4} + \\
&+ Q_{iC_3H_8} \cdot \omega_{iC_3H_8} + Q_{iC_NH_M} \cdot \omega_{iC_NH_M} \\
&= 12635 \cdot 0,2908 + 10785 \cdot 0,1255 + 35880 \cdot 0,0925 + 93180 \cdot 0,0003 + \\
&62048 \cdot 0,0058 \cong 8735 kJ \cdot m^{-3}
\end{aligned} \tag{65}$$

$$\begin{aligned}
\omega_{H_2-\check{c}} &= \frac{\omega_{H_2}}{\omega_{H_2} + \omega_{CO} + \omega_{CH_4} + \omega_{C_NH_M}} = \frac{0,1255}{0,1255 + 0,2908 + 0,0925 + 0,0061} \cong \\
&\cong 0,2437
\end{aligned} \tag{66}$$

$$\begin{aligned}
\omega_{CO-\check{c}} &= \frac{\omega_{CO}}{\omega_{H_2} + \omega_{CO} + \omega_{CH_4} + \omega_{C_NH_M}} = \frac{0,2908}{0,1255 + 0,2908 + 0,0925 + 0,0061} \cong \\
&\cong 0,5648
\end{aligned} \tag{67}$$

$$\begin{aligned}
\omega_{CH_4-\check{c}} &= \frac{\omega_{CH_4}}{\omega_{H_2} + \omega_{CO} + \omega_{CH_4} + \omega_{C_NH_M}} = \frac{0,0925}{0,1255 + 0,2908 + 0,0925 + 0,0061} \cong \\
&\cong 0,1796
\end{aligned} \tag{68}$$

$$\begin{aligned}
\omega_{C_NH_M-\check{c}} &= \frac{\omega_{C_NH_M}}{\omega_{H_2} + \omega_{CO} + \omega_{CH_4} + \omega_{C_NH_M}} = \frac{0,0061}{0,1255 + 0,2908 + 0,0925 + 0,0061} \cong \\
&\cong 0,0119
\end{aligned} \tag{69}$$

$$\begin{aligned}
K_{d-\check{c}} &= \frac{1}{\frac{\omega_{H_2-\check{c}}}{K_{d-H_2}} + \frac{\omega_{CO-\check{c}}}{K_{d-CO}} + \frac{\omega_{CH_4-\check{c}}}{K_{d-CH_4}} + \frac{\omega_{C_NH_M-\check{c}}}{K_{d-C_NH_M}}} = \frac{1}{14,60} \cdot 100 \cong 6,85\%
\end{aligned} \tag{70}$$

$$\begin{aligned}
K_{h-\check{c}} &= \frac{1}{\frac{\omega_{H_2-\check{c}}}{K_{h-H_2}} + \frac{\omega_{CO-\check{c}}}{K_{h-CO}} + \frac{\omega_{CH_4-\check{c}}}{K_{h-CH_4}} + \frac{\omega_{C_NH_M-\check{c}}}{K_{h-C_NH_M}}} = \frac{1}{2,3212} \cdot 100 \cong 43,08\%
\end{aligned} \tag{71}$$

$$B = (\omega_{CO_2} + \omega_{N_2}) \cdot 100 = (0,1521 + 0,3247) \cdot 100 = 47,68\% \tag{72}$$

$$\begin{aligned}
K_d &= \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{d-\check{c}} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{d-\check{c}} = \frac{\left(1 + \frac{47,68}{100 - 47,68}\right) \cdot 100}{100 + 6,85 \cdot \frac{47,68}{100 - 47,68}} \cdot 6,85 \cong 12,3\%
\end{aligned} \tag{73}$$

$$\begin{aligned}
K_h &= \frac{(1 + \frac{B}{100 - B}) \cdot 100}{100 + K_{h-\check{c}} \cdot \frac{B}{100 - B}} \cdot K_{h-\check{c}} = \frac{\left(1 + \frac{47,68}{100 - 47,68}\right) \cdot 100}{100 + 43,08 \cdot \frac{47,68}{100 - 47,68}} \cdot 43,08 \cong 59,1\%
\end{aligned} \tag{74}$$



## 7. Zhotovení odbočky DN150 na potrubí koksárenského plynu

Představme si situaci, kdy je požadavek na přivedení média koksárenského plynu ke spotřebiči s celkovým výkonem na hořácích 1000 kW a přepokládanou celkovou účinností spotřebiče 35%. Je možnost napojit se na 60m vzdálený přívod koksárenského plynu DN400. Přetlak v síti KP (situovaném v TŽ a.s.) je v rozmezí 4-5 kPa podle momentální spotřeby. Je třeba zhotovit odbočku pod tlakem, pro nevýhodnost odstavení KP DN400. Teplota plynu se pohybuje okolo 20 °C.

Nejdříve navrhujeme potrubí pro odbočku, tzn., určíme průměr a tloušťku stěny: Pro výpočet využijeme vztahů (15) až (24), tabulek 4-1 a 4-2 a vypočtených hodnot ze vztahů (38) a (41).

Potřebný přenášený výkon potrubím:

$$P = \frac{P_s}{\eta_s} = \frac{1000}{0,35} = 2857,143 \text{ kW} \quad (75)$$

Objemový průtok (při  $t=0^\circ\text{C}$  a  $p=101,325 \text{ kPa}$ ):

$$\dot{V}_{(n)} = \frac{P}{Q_i} = \frac{2857,143}{17635} = 0,162 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (76)$$

Hustota KP při  $t=20^\circ\text{C}$  a  $p_2=4,5 \text{ kPa}$ :

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{resp.} \quad \frac{p_1}{T_1 \rho_1} = \frac{p_2}{T_2 \rho_2} \Rightarrow \rho_2 = \frac{T_1 \rho_1 p_2}{p_1 T_2} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (77)$$

$$T_1 = 273,15 \text{ K} \quad T_2 = 20 + 273,15 = 293,15 \text{ K}$$

$$p_1 = 101,325 \text{ kPa} \quad p_2 = 4,5 + 101,325 = 105,825 \text{ kPa}$$

$$\rho_1 = 0,49 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_2 = \frac{T_1 \rho_1 p_2}{p_1 T_2} = \frac{273,15 \cdot 0,49 \cdot 105,825}{101,325 \cdot 293,15} \cong 0,48 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (78)$$

Výpočet vnitřního průměru d:

Rychlost proudění v potrubí je zvolena  $c=10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{(n)} \cdot \rho_{(n)}}{\pi \cdot c \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,162 \cdot 0,49}{3,14 \cdot 10 \cdot 0,48}} = 0,145 \text{ m} = 145 \text{ mm} \quad (79)$$

Nejbližší větší dimenze potrubí je (tab. 4-2) DN150 s vnitřním průměrem (při použití tloušťky stěny 4mm)  $d = 160,3 \text{ mm}$ . Nyní ještě zohledníme tlakovou ztrátu:

$$\text{Re} = \frac{c \cdot d}{\nu} = \frac{10 \cdot 0,1603}{24,29 \cdot 10^{-6}} \cong 65994 \quad (80)$$

Podle Reynoldsova čísla vzniká v potrubí turbulentní proudění, určíme součinitel tření  $\lambda$  podle Gončarova (24) a tab. 4-1 – ocelová bezešvá nová trubka:

$$\lambda = \frac{1}{\left[2 \cdot \log\left(3,71 \cdot \frac{1}{\varepsilon/d}\right)\right]^2} = \frac{1}{\left[2 \cdot \log\left(3,71 \cdot \frac{1}{0,04/160,3}\right)\right]^2} = 0,015 \quad (81)$$

Tlaková ztráta v potrubí dlouhém 60m je potom:

$$\Delta p_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \rho = 0,015 \cdot \frac{60 \cdot 10^2}{0,1603 \cdot 2} \cdot 0,48 \cong 135 Pa = 0,135 kPa \quad (82)$$

Tlaková ztráta v potrubí je zhodnocena jako minimální, navržena světlost zůstává zachována: DN150, tzn. **trubka ø168,3 x 4mm**.

## 7.1 Provedení navrtávky

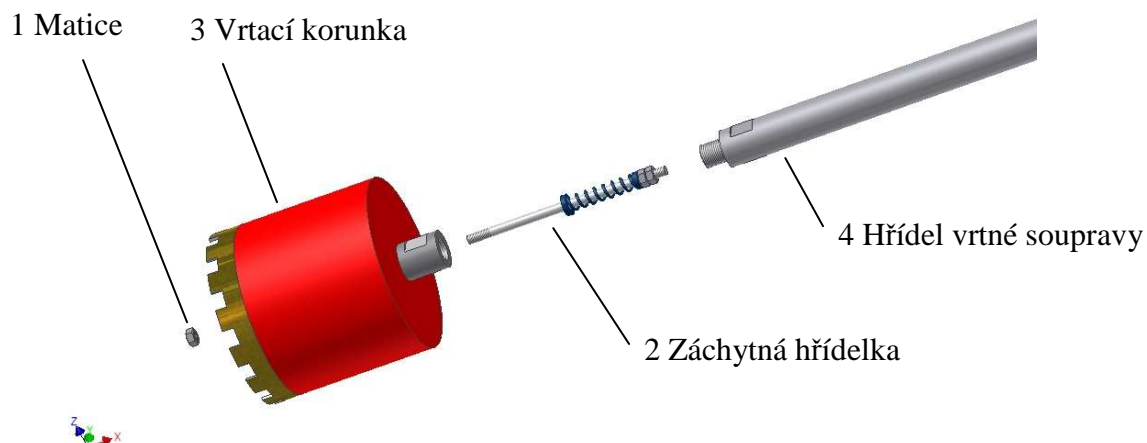
Pro přetlak v rozmezí 4-5kPa a jmenovité světlosti potrubí DN150 je ideálním způsobem pro zhotovení odbočky pod tlakem provedení navrtávacích prací (kap. 2.2).

Prvním krokem, pro provedení navrtávky, je nutnost proměřit tloušťku stávajícího živého potrubí DN400 za pomoci ultrazvukového tloušťkoměru (tzv. korometr). Toto měření je nutné pro stanovení možnosti přivaření nátrubku DN150 k stávajícímu potrubí. Pokud tloušťka potrubí odpovídá v tomto případě ČSN EN 12007 a ČSN EN 1775 je možno provést přivaření nátrubku k stávajícímu živému potrubí. V tomto případě by tloušťka na stávajícím potrubí neměla podkročit 4,5mm [18]. Tyto práce mohou provádět pouze svářeči kvalifikováni podle ČSN EN 287-1 a musí být pro tyto práce vystaven zvláštní přepis (tzv. příkaz ke svařování).

Po navaření nátrubku a nabudování armatury je již možno přikročit ke kompletaci vrtné soupravy, v tomto případě vrtné soupravy HILTI DD130 používané firmou Kohut Třinec, s.r.o. k provádění navrtávacích prací. Technické parametry pro navrtávání jsou uvedeny v kapitole 7.2.

Nejdříve je třeba zabezpečit, aby odvrtaná část trubky nespadla do stávajícího potrubí (zejména při vrtání ve vertikální poloze směrem dolů). Tento mechanismus je zobrazen na obr. 7-1. Matice 1. se navaří na část, která přijde po odvrtání vytáhnout, a to osově s hřídelí vrtné soupravy 4. Mezi hřídel a korunku se vsune záchytná hřídelka 2., která se skrz vrtací korunku 3. vkrouťte do navařené matice 1., záchytná hřídelka by měla být do matice 1. vkroucená tak, aby se pružinka stlačila a vzniklo na ní napětí, které po odvrtání zajistí vtažení odvrtané části do korunky. Než se přikročí ke skroucení hřídele vrtné soupravy 4. a korunky 3., nesmí se zapomenout na nasazení těsnícího hrnce s ucpávkou na část 4.

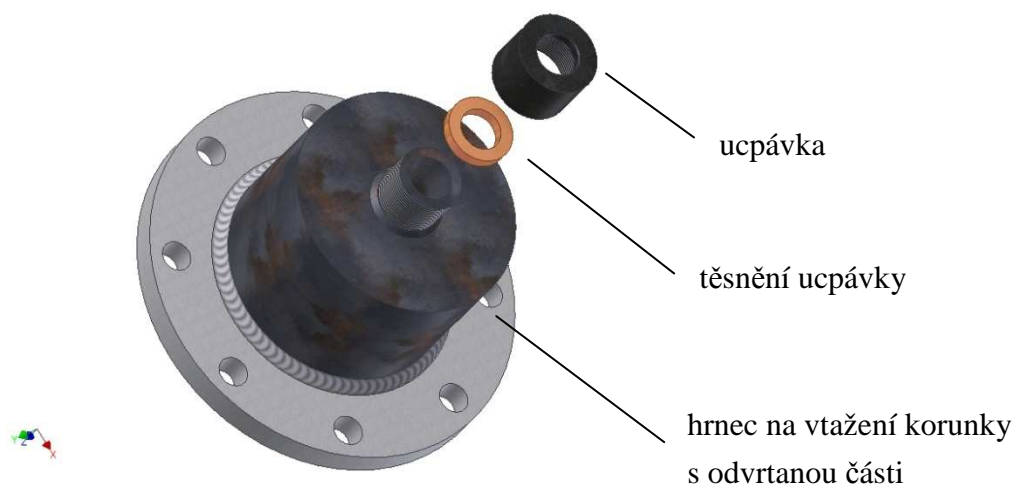
Pak se již vše zkompletuje tak, jak je zakresleno v příloze č. 6. Vrtná souprava Hilti se pevně uchytlí k stávajícímu potrubí a zahájí se vrtání.



7-1 Zachycení odvrtné části

Před každým zahájením vrtacích prací jsou nezbytné tzv. „přípravné práce“ s ohledem na nařízení vlády č. 406/2004. Je třeba zajistit únikovou cestu z prostoru pracoviště, před započatím každé navrtávací práce jsou zaměstnanci povinni zkontrolovat a vyměnit těsnění ucpávky (obr. 7.2). Práce mohou provádět pouze montéři pro plynová zařízení, kteří navíc byli proškoleni pro použití dýchací techniky, a složili oprávněnou zkoušku.

Při samotném vrtání se nepřepokládá výbušná a jedovatá atmosféra v okolí, přesto mají zaměstnanci při pracích v pohotovostní poloze izolační dýchací techniku (firma Kohut Třinec, s.r.o. používá dýchací techniku od firmy Dräger, a.s.) a je vybavena osobními dozimetry na měření koncentrace CO v ovzduší. Pokud dojde k překročení expozičního limitu (kap. 3.7) nasazují dýchací přístroje, vypnou vrtnou soupravu, vyšetří příčinu úniku plynu (v praxi pravděpodobně došlo k úniku na ucpávce), pokud možno závadu odstraní a dokončí práce. V případě, že nelze závadu odstranit, pokračují v souladu s místním provozním řádem [2], resp. havarijním plánem daného hutního podniku.



7-2 Systém utěsnění

Vrtná souprava HILTI DD130 je uzpůsobena pro mokré vrtání, tzn., že přes hřídel je přiváděna do místa vrtání voda (obr. 7-3) která slouží jak k ochlazení vrtacího média, tak zabezpečuje ochranu před iniciací v okamžiku dovrtávání a průchodu plynu do nátrubku odbočky. Toto je důležitý faktor zejména při vrtání do koksárenského plynu, který je velmi výhřevný a má dolní mez výbušnosti okolo 5% ve směsi se vzduchem.



7-3 Mokré vrtání

Většina potrubních rozvodů hutních plynů má systém odvodnění kondenzátu (tzv. „odvodňovače“), proto malé množství chladicí vody přivedené do potrubí vůbec nevadí.

Po odvrtání je nutno vtáhnout korunku s odvrtaným zbytkem do hrnce s ucpávkou (nabudovaném za armaturou) a uzavírací armaturu uzavřít. Jako vhodná armatura se jeví kulový uzávěr (přírubový) či třmenové šoupátko. Jelikož obecně nelze považovat jeden uzávěr za těsný (kap. 2.1), je nutné ihned po demontáži vrtné soupravy nasadit na armaturu „protipřírubu“ a mezi ně vsunout záslepku. Tím je odbočka hotova a od příruby za záslepkou je již možno zahájit montáž potrubí.

## **7.2 Technické parametry pro navrtávání pod tlakem**

Pro úspěšné provedení navrtávacích prací pod tlakem, je důležité respektovat jisté parametry stanovené v této kapitole. V první řadě musí být vždy vrtání prováděno jako mokré. Dalším limitujícím faktorem je tlak plynu v navrtávaném potrubí v závislosti na průměru odbočky uvedeném v tab. 7-1. Tato tabulka byla sestavená na základě parametrů vrtné soupravy HILTI DD130 a technické praxe při navrtávání, kde byla sledována těsnost ucpávky a velikost zpětné síly působící na korunku po odvrtání způsobené přetlakem v potrubí.

Pro vrtání je nutno nastavit i správné otáčky, vrtná souprava HILTI DD 130 má tři polohy otáček, v závislosti na velikosti vrtací korunky. Tyto údaje spolu s dalšími údaji o vrtné soupravě jsou uvedeny v tab. 7-2.

Jmenovitá světlost DN	15	20	25	32	40	50	65
Nejvyšší přípustný tlak v potrubí [kPa]	800	800	800	600	600	400	400
Jmenovitá světlost DN	80	100	125	150	200	250	
Nejvyšší přípustný tlak v potrubí [kPa]	300	300	200	100	50	20	

tab. 7-1 Tlakové limity

	do DN25	do DN 65	do DN 250
Otáčky v závislosti na DN [ot./min]:	2600	1400	780
Jmenovitý příkon [W]:	1900		
Max. tlak přívodu vody [bar]:	6		
Délka (vrtací rozsah) [mm]:	730 s nádstavcem		

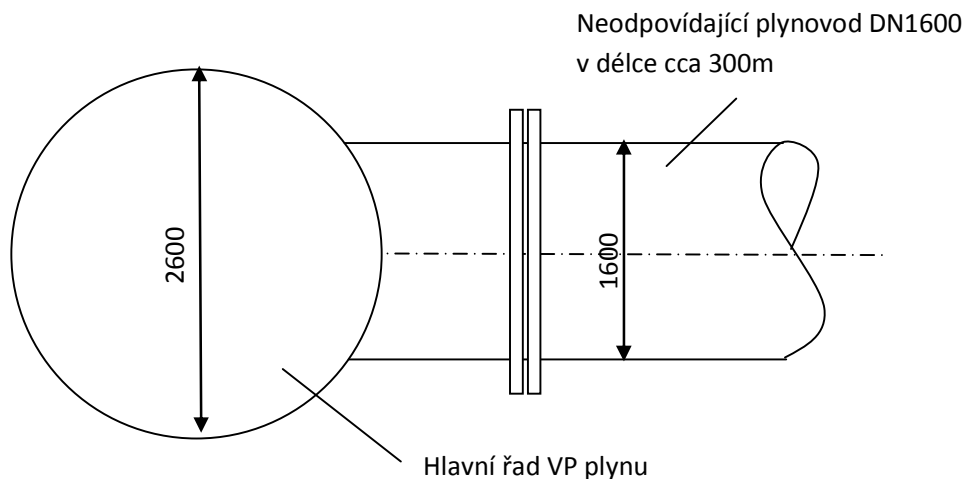
tab. 7-2 Parametry vrtné soupravy [20]

Navrtávací práce fungující na výše uvedeném principu lze provádět i do rozvodů s některými jinými médii, např. voda, technické plyny, vzduch aj. S ohledem na charakter práce však zde nejsou rozebírány.

Problém uvedený v kap. 7 je vyřešen, obdobným způsobem lze aplikovat navrtávání pod tlakem na ostatní topné (zejména hutní) plyny.

## 8. Výměna zastaralého potrubí VP plynu DN1600 pro teplárnu

Stávající plynovod (obr. 8-1) neodpovídá stavu pro bezpečný provoz. Důvodem je silně zkorodované potrubí DN1600 po celé délce trasy. Odbočka vychází z hlavního řádu VP plynu DN2600 v huti (je tedy prakticky nemožné ho odstavit), na starém potrubí DN1600 je 1m za odbočkou z hlavního řádu situován přírubový spoj. Je nutné staré potrubí vyměnit a propojit se spotřebičem vzdáleným 300m od hlavního řádu VP plynu (DN2600), a to v čím jak nejkratším čase, aby nebyl na dlouhou dobu odstaven spotřebič (plynový kotel na teplárně E2, ET a.s.).



8-1 schéma odbočky nevyhovujícího potrubí

Jakým způsobem řešit zadaný problém? Oprava se provede beze změn technických parametrů a využije se nižší výhřevnosti VP plynu. Je třeba provést čtyři hlavní kroky, z nichž 3 spadají do oblasti speciálních plynových prací (dále jen SPP):

- Přípravení nové odbočky pomocí trhací práce (SPP)
- Montáž nového potrubí až téměř ke spotřebiči DN1600
- Zaslepení a odplynění stávajícího potrubí DN1600 (SPP)
- Propojení nové odbočky DN1600 na spotřebič, odslepení a zaplynění (SPP)

Při takto chronologicky řazeném postupu dojde jen k minimálnímu omezení na hlavním řadu DN2600 a doba odstavení plynového spotřebiče bude pouze po minimální nutnou dobu na provedení odstavení starého a zprovoznění nového plynovodu DN1600.

## **8.1 Provedení trhací práce**

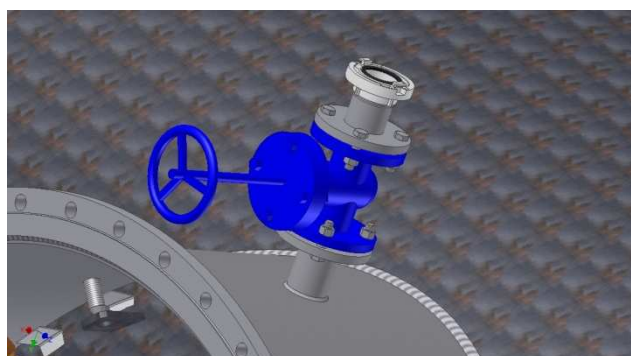
Tento postup vyžaduje velmi pečlivou přípravu před zhotovením samotné odbočky. Přípravné práce trvají velmi dlouho (řádově okolo 14dní), samotné provedení trhací práce v řádech minut (pro daný problém asi 50min). Je třeba předejít všem možným rizikům při provádění trhačky, tak aby rizika při práci samotné byly minimalizované. Je třeba zohlednit i takové věci jako kdo bude kde stát, kdo jakou činnost bude provádět, jaké signály se budou používat (při pracích v dýchacích přístrojích při relativně velké hlučnosti je verbální komunikace silně omezena) apod.

V první fázi přípravných prací se provede montáž lešení (rozvody v hutích jsou většinou nad úroveň terénu) a únikových cest. Následující krok je zhotovení nátrubku DN1600 (obr. 8-2) a jeho přivaření k stávajícímu potrubí (za podobných podmínek jako pro navaření nátrubku u navrtávacích prací kap. 7.1), včetně všech příslušejících komponentů jakou jsou nátrubky pro nástřik dusíku (obr. 8-3), táhel na vytažení oddělené části se zajištěním (obr. 8-4), pacek na zajištění těsnící šňůry a „vodících nosů“ pro hladší vtažení oddělené části do hrnce (obr. 8-5), pacek a speciálních šroubů pro první malé odtažení oddělené části od stávajícího potrubí (obr. 8-6) a konečně hrnce na oddělenou část a možnost zaslepení (obr. 8-7).



8-2 Nátrubek DN1600 a jeho přivaření k stávajícímu plynovodu DN2600

Nástřiky dusíku (viz obr. 8-3) mají účel k vytvoření inertní clony pro paliče, který odděluje část stávajícího potrubí, tzn. že když pálí, plyn vyhořívá, ale v momentě kdy přestane, což je nutné pro kontrolu již vypálené drážky a její částečné utěsnění těsní šňůrou (viz. dále), je plamen okamžitě zhasen. Zde je patrný hlavní důvod, proč se práce dají provádět jen u plynů s malou výhřevností (firma Kohut Třinec, s.r.o. uvádí pod  $5\text{MJ/m}^3$ ). Nebylo by totiž možné plamen uhasit, zbylé práce by byly tudíž neproveditelné. Počet těchto nástřiků je závislý na průměru trhačky, v tomto případě jsou dva (v horní a dolní části nátrubku) a dusík je přiváděn pomocí požárních hadic ze speciálních dusíkových vozů, natlakovaných na 150 bar. Požárními hadicemi (průměr 50mm) se dá přivádět médium až pod tlakem 16 bar, množství je plynule regulováno dle potřeby.

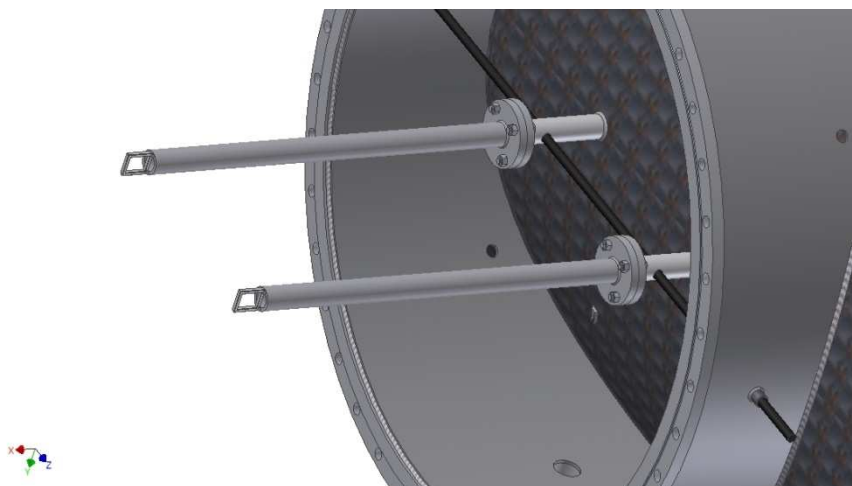


8-3 Nástřik dusíku

Táhla na vytažení oddělené části (obr. 8.4) mají jasný význam pro vtažení oddělené části po odpálení do hrnce. Na přírubových spojích jsou proto, aby v případě, že se nedaří odpálenou část vytrhat, mohlo být provedené rychlé zaslepení (táhla se sundají, nasadí se hrnec, a mezi hrnec a nátrubek se zasune záslepka), což by jinak nebylo možné, protože táhla by překážely v cestě záslepce.

Element náhody je zde vždycky, dle jednoho pamětníka firmy Kohut Třinec, s.r.o. došlo kdysi při trhací práci k tomu, že vše se podařilo, a oddělenou část nešlo vytáhnout. Když se pátralo po příčinách, zjistilo se, že při montáži hlavního řadu plynovodu kdysi před lety, zůstal vevnitř v potrubí přivařený kus pomocné ocelové konstrukce a ten držel oddělenou část. Táhla tehdy byly v celé délce a vznikla složitá situace s výronem plynu, při které nebylo možno zaslepit.

Táhlo se dá použít jedno či dvě, v závislosti na průměru odbočky (DN1200 a víc - dva táhla), skrz ně je zajištění, aby nedošlo k opačnému efektu, kdy po odpálení celé části po obvodu samovolně vypadne oddělená část a dojde k obrovskému nekontrolovatelnému úniku plynu.

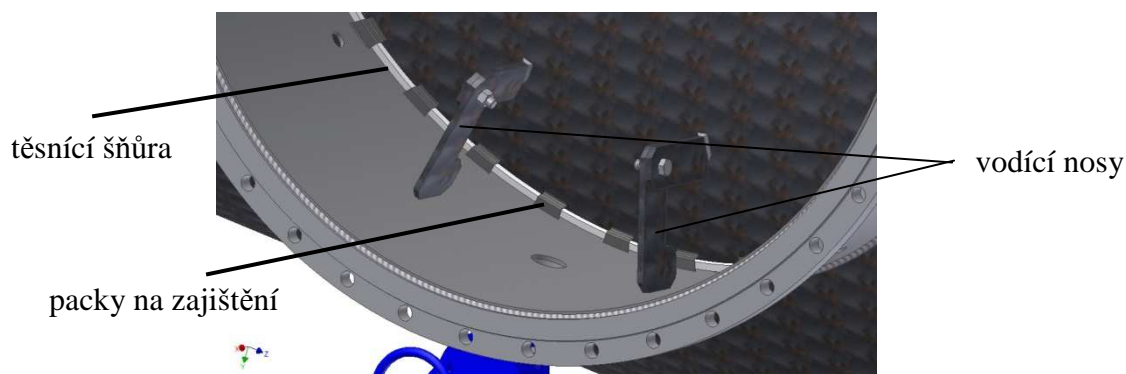


**8-4 Táhla se zajištěním**

Dalšími komponenty chystanými v rámci přípravných prací jsou packy na zajištění těsnící šňůry a „vodící nosy“. Když se provádí samotná trhavá práce, odpálí se po obvodu vždy jen asi 200mm, které se následně zkontrolují (zda došlo k oddělení) za pomoci speciálního nože (který se zasune do vypálené štěrby a po celé délce 200mm se jím projede). Když je toto provedeno, zamezí se výronu plynu tím, že se štěrbina provizorně utěsní speciální šňůrou, která je předtím vytrvale máčena v olejové lázni (pro lepší těsnost). Pokračuje se pálením o dalších 200mm a celý postup se opakuje, dokud není odpálení provedeno po celém obvodu.

Aby bylo možno utěsnění provést, dopředně se navaří po celém obvodu tenké plíšky (tloušťka 2mm), které se zatlačí na těsnící šňůru v již odpálených místech (obr. 8-5). Po oddělení po celém obvodu se plíšky odehnou a šňůra odstraní, aby bylo možné provést „vytrhání“ odpálené části do hrnce a zaslepení.

Na obr. 8-5 je mimo jiné vidět „vodící nosy“ které mají jedinou úlohu: Napomáhají souměrnému vtahování oddělené části do hrnce (zabraňují vzpříčení po trase do hrnce), při vypalování drážky jsou sundány, nasadí se až po odpálení pod prostorem jejich umístění.



**8-5 packy na zajištění a vodící nosy**



Jedna z poslední fáze příprav je navaření „uší“ na oddělovanou část, do kterých se skrz nátrubek nové odbočky vkrouť šrouby se zašpičatělým koncem (obr. 8.6).

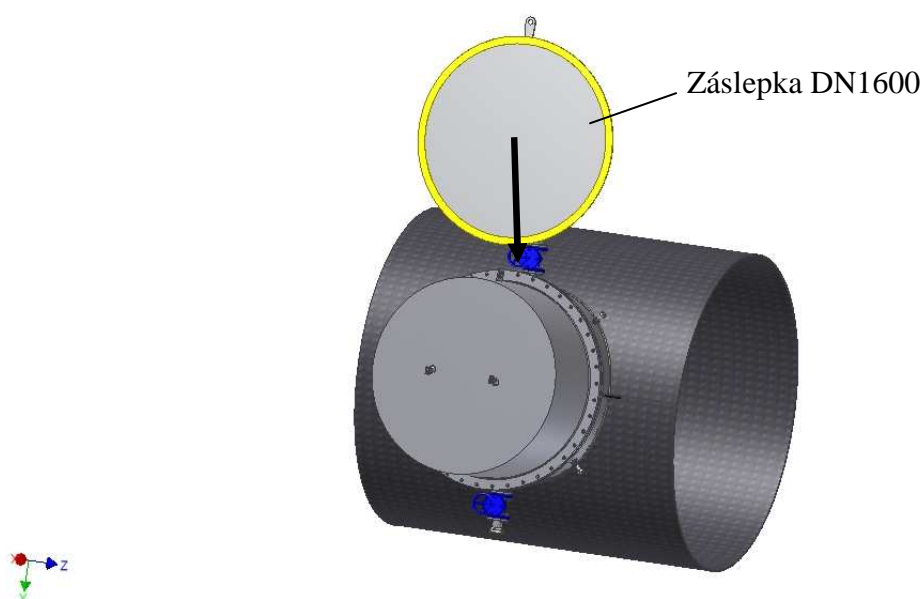
Jejich funkce nastane hned po vypálení drážky po celém obvodu, nasazení hrnce a vytažení zajištění. Špičaté konce šroubů totiž vstupují do otvorů „uší“ tak, aby v momentě, kdy se začnou šrouby vtáčet, se rozšiřující se konce šroubu vyťahovaly skrz „uší“ oddělenou část (je vyvolán obrovský tah směrem ven). Takto se vysune oddělená část řádově o pár mm, ovšem při nepřesném pálení kdy v drážce vzniká struska, je to důležitý moment, protože při dalším vytahování za pomoci táhel není potřeba tak velké tažné síly.



8-6 Speciální šrouby pro začátek vytažení

V našem případě jsou použity čtyři kusy „uší se šrouby“, u menších průměrů (pod DN1000) stačí použít dva kusy.

Hrnc pro vtažení oddělené části z hlavního potrubí je po přípravě celou dobu mimo prováděné práce, po odpálení, vytrhaní těsnící šňůry, dotažení „vodících nosů“ a nakroucení speciálních šroubů do polohy podle obr. 8-6, se nasadí na nátrubek odbočky. Dalším krokem je vytažení zajištění skrz táhla, vkroucení speciálních šroubů a jejich vykroucení (po vykroucení se do nátrubků vkrouť zátky s konopím plynotěsně).



8-7 Hrnc, vtažení a zaslepení

Nyní je nutné vtažení oddělené části do hrnce, až je toto hotovo, mezi hrnec a nátrubek se do přírubového spoje vsune záslepka a příruba se plynotěsně dotáhne (obr. 8-7). Hrnec od přírubového spoje odřežeme a odbočka pro montáž potrubí je hotova.

Před samotným zahájením trhacích prací je zpracován příkaz „V“ (viz. příloha č. 8). V tomto příkazu jsou uvedené všechny osoby zodpovědné, je detailně zachycen technologický postup a všechna bezpečnostní opatření, mezi které patří zejména:

- Zajištění hlídek okolo pracoviště s nebezpečím výbuchu, tak aby po dobu prací nikdo nevkročil do prostoru s předpokládaným výronem plynu.
- Zajištění odstavení všech elektrických spotřebičů a dalších potenciálních možných zdrojů iniciace v blízkosti pracoviště.
- Asistence hasičského záchranného sboru, pro případné poskytnutí první pomoci

Na fotografii (obr. 8-8) je zachyceno provádění trhacích prací zaměstnanci firmy Kohut Třinec, s.r.o.



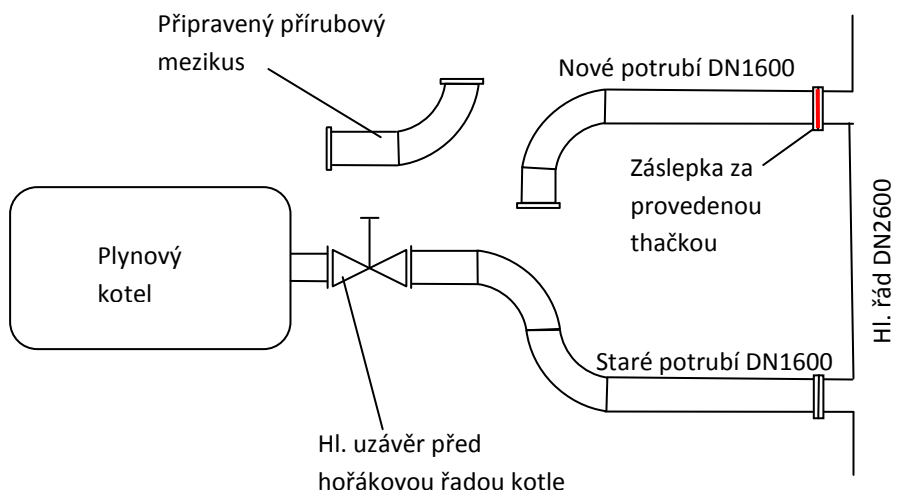
8-8 Provádění trhací práce [fotogalerie firmy Kohut Třinec, s.r.o.]

Zde je vidět vybavenost pracovníků, kromě dýchací techniky i speciální antistatické oblečení NOMEX<sup>®</sup>, které mimo jiné chrání i před účinky otevřeného ohně, používají je i jednotky hasičského záchranného sboru, v armádě apod. [21].

Trhačka je hotova, nová odbočka připravená, spotřebič s přípojkou DN1600 i hlavní řad vysokopecního plynu jsou neustále v provozu, může se přikročit k montáži nového potrubí DN1600.

## 8.2 Montáž nového potrubí DN1600

Na provádění montážních prací není nic zvláštního, je třeba dodržet zásady dle platných ČSN pro zařízení pro rozvod plynů (ČSN EN 12007, ČSN EN 1775) případně dalších zde neuváděných. S ohledem na plynářské práce by mělo být potrubí DN1600 po montáži připraveno tak, aby po odstavení a odplynění stávajícího a pořád živého potrubí DN1600 bylo možné v tom samém dni propojit nové potrubí a následný den toto potrubí uvést do provozu. Situace po montáži by měla odpovídat schématu na obr. 8-9.



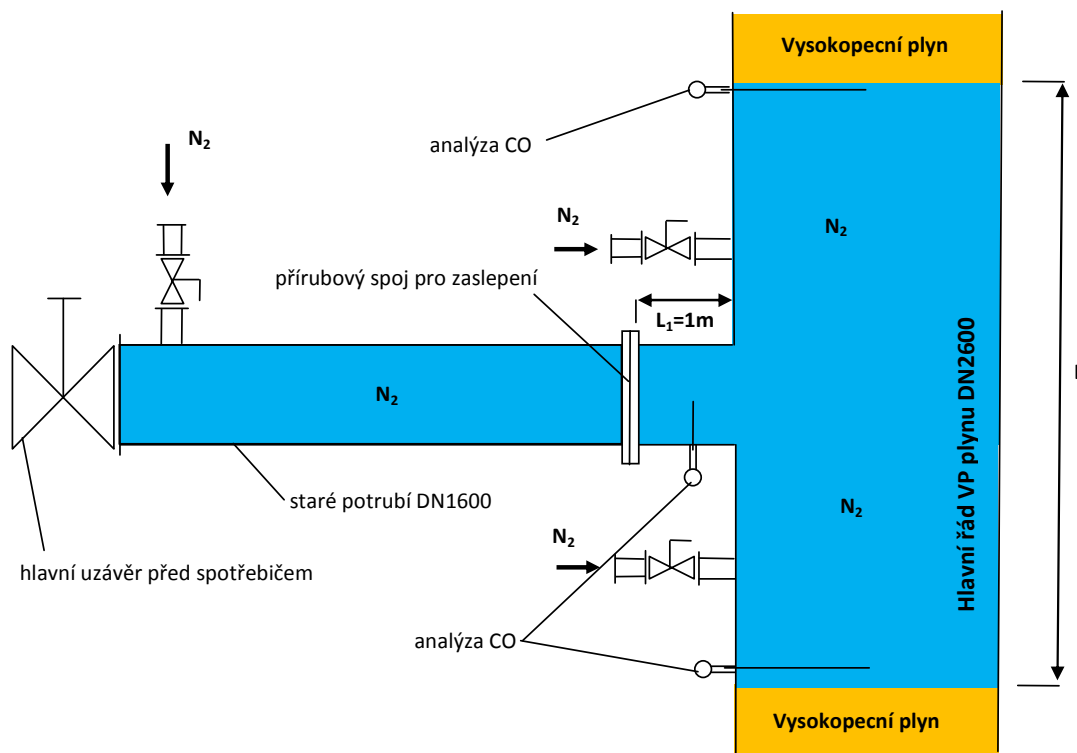
8-9 Schéma po montáži

Důležitý je zejména připravený „mezikus“ na spojení nové trubky s uzavírací armaturou před plynovým kotlem.

## 8.3 Zaslepení zkorodovaného potrubí DN1600

Nyní přichází na řadu další část speciálních plynových prací, aplikována na náš problém. V kapitole 2. 1 byla uvedena metoda dočasného odstavení plynovodu z provozu, při ní se ovšem předpokládala možnost uzavření plynovodu armaturou a teprve potom vytěsnění plynu s následným zaslepením plynovodu a odplyněním. V tomto případě ovšem není žádná možnost uzavření starého zkorodovaného potrubí armaturou. Máme k dispozici pouze přírubový spoj, asi 1m za odbočkou z hlavního řadu. Jak vyřešit problém? Existuje řešení v podobě tzv. řízeného zaslepování za pomoci inertního plynu (patent firmy Kohut Třinec, s.r.o.). Přichází do úvahy na všech topných plynech, ovšem pouze v oblastech nízkotlaku (do 5kPa).

Princip této metody je v podstatě obrácený postup kapitoly 2.1. Za pomoci intenzivní inertizace dusíkem z bateriových vozů se topný plyn vtlačí zpět do hlavního řadu (obr. 8-10), v tomto momentě se zahájí inertizace i v hlavním řadu tak, aby se za krátký okamžik dostal plyn do dostatečné vzdálenosti od zaslepovacího místa. Situace v potrubí se analyzuje pomocí měřidel na určených místech (měří se množství CO v potrubí, v případě ZP pak CH<sub>4</sub>).



8-10 Schéma inertizace při řízeném zaslepování

V momentě, kdy dostaneme topný plyn do dostatečné vzdálenosti od místa přírubového spoje (určíme výpočtem, viz.dále), zahájí se zaslepení na přírubovém spoji. Po dobu provádění speciální práce ze štěrbin uniká pouze inertní plyn, případně inertní plyn a zbytky VP plynu (nikdy se ho nepodaří vytěsnit úplně zcela), předchází se tak riziku zamoření oblasti jedovatým plynem (CO) a možnému zahoření plynu (topný plyn + vzduch + náhodný zdroj iniciace). Opět platí, dokonalá příprava = zdárný výsledek. Na vsunutí záslepky je totiž jen krátký čas.

Vzhledem k odhadovanému času pro provedení samotného zaslepení určíme vzdálenost  $L$ , do které je třeba topný plyn vytěsnit, aby po dobu prací ze vzniklé štěrbině pro zaslepení unikl pouze dusík. Pro náš konkrétní případ zaslepení, je čas potřebný k zaslepení (dobu kdy bude docházet k úniku z rozevřeného přírubového spoje) odhadován na  $t = 120s$ . Vzniklá štěrbina na přírubovém spoji při rozevření bude  $b = 20mm$ . Čas pro zaslepení je zcela závislý na místu pracoviště a volí se vždy individuálně (na základě poznatků z praxe). Při výpočtech vyjdeme z Bernoulliho rovnice kontinuity. Děj idealizujeme (pro odhad je to dostačující), tzn. předpokládáme dokonalou tekutinu [15]:

$$\frac{1}{2} \rho_1 c_1^2 + h \rho_1 g + p_{at} = \frac{1}{2} \rho_2 c_2^2 + h \rho_2 g + p_{abs} \quad (83)$$

kde:

$\rho_1 [kg.m^{-3}]$  je hustota VP plynu při teplotě  $20^{\circ}C$  a tlaku  $p_{at} = 101,325 kPa$  vztah (27)  
 $c_1 [m.s^{-1}]$  je rychlost unikajícího plynu na štěrbině

$\rho_2[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$  je hustota VP plynu při teplotě  $20^\circ\text{C}$  a absolutního tlaku v potrubí

$c_2[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$  je rychlost proudění v potrubí

$p_{\text{abs}} [\text{Pa}]$  je absolutní tlak v potrubí  $p_{\text{abs}} = p_{\text{at}} + \Delta p$

V našem případě polohová energie  $h\rho g = 0$  na obou stranách rovnice. Rychlost  $c_2$  sice není nulová, ale vzhledem k tomu, že při provádění zaslepování dojde na kratičký čas k malému omezení provozu VP plynu v hlavním řadu (Odběry VP plynu budou minimalizovány) lze uvažovat  $c_2 = 0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Přetlak v potrubí je v našem případě 2kPa (Údaj z Energetiky Třinec, a.s., když je teleskop plynojemu v dolní poloze). Potom:

$$\frac{1}{2}\rho_1 c_1^2 + p_{\text{at}} = p_{\text{abs}} \quad (84)$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{2(p_{\text{abs}} - p_{\text{at}})}{\rho_1}} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (85)$$

$$\Delta p = p_{\text{abs}} - p_{\text{at}} = 2,3\text{kPa} \quad (86)$$

Plocha S štěrbiny:

$$S = \pi \cdot d \cdot b \quad [\text{m}^2] \quad (87)$$

Objemový výtok ze štěrbiny:

$$\dot{V} = c_1 \cdot S = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_1}} \cdot \pi d_1 b \quad [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}] \quad (88)$$

Objem inertního plynu v potrubí:

$$V = V_1 + V_2 = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot L_1 + \pi \cdot \frac{d_2^2}{4} \cdot L \quad [\text{m}^3] \quad (89)$$

Doba úniku:

$$t = \frac{V}{\dot{V}} = \frac{d_1^2 L_1 + d_2^2 L}{4 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_1}} \cdot d_1 b} \quad [\text{s}] \quad (90)$$

ze vztahu (90) je již možno vyjádřit hledanou délku L:

$$L = \frac{4td_1b \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_1}} - d_1^2 L_1}{d_2^2} \quad [\text{m}] \quad (91)$$

$$L = \frac{4 \cdot 120 \cdot 1,6 \cdot 0,020 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2000}{1,38}} - 1,6^2 \cdot 1}{2,6^2} = 122\text{m} \quad (92)$$

Máme hledanou délku L (obr. 8-10), analyzátory plynu se umístí asi 60m na každou stranu od starého potrubí DN1600 na potrubí DN2600, a jeden k zaslepovacímu místu.

Nejdříve se začne s inertizací dusíkem starého potrubí, jakmile hodnoty koncentrací CO u zaslepovacího místa klesnou na 1-2% CO, zintenzivní se „dusíkování“ o další dva nástřiky přímo do hlavního řadu DN2600, v momentě kdy klesne hodnota i na 60m vzdálených analyzátorech (ideál je opět okolo 1% CO <sup>5)</sup>), přikročí se k zaslepení.

I když výpočet pro únik na štěrbině není úplně přesný, protože děj je do velké míry idealizován, lze ho považovat za dostačující vzhledem k tomu, že:

- po dobu samotného zaslepování se pořád přivádí dusík skrz nástřiky do potrubního systému.
- objem dusíku V (vztah 89) je ve skutečnosti vyšší (v potrubí je přetlak 2kPa, při výpočtu byl uvažován tlak atmosférický).

Práce jsou opět prováděny za asistence hasičského záchranného sboru, je na ně zpracován příkaz V a pracovníci pracují v izolačních dýchacích přístrojích spolu s ochrannými antistatickými oděvy NOMEX® [21].

Je důležité zmínit, že je při pracích používáno nejiskřící nářadí (slitina měď-beryllium) k zabránění iniciace a každý pracovník je proměřen na vodivost (měří se odpor zaměstnance v MΩ v antistatickém obleku vůči okolí), to proto, aby bylo ověřeno, zda zaměstnanec nemůže způsobit výboj při kontaktu s okolím. Opět jsou v okolí pracoviště hlídky, které monitorují případný výron CO (nepředpokládá se) a zamezují vstupu neoprávněným osobám.

Tato metoda je nazvána „řízené zaslepování“, protože výron na štěrbině je řízen na základě výpočtů a připravených postupů, není to jen roztažení přírubového spoje a vsunutí záslepky.

Po zaslepení je třeba provést kontrolu odplyněného potrubí, v případě, že je odplyněné, může se přikročit k demontáži v místě pro spojení nového potrubí DN1600 se spotřebičem, provést montáž „dopojovacího muzikusu“ (obr. 8-9), provést zkoušku těsnosti podle ČSN 12007, či ČSN EN 1775 a přikročit k poslední fázi našeho problému.

---

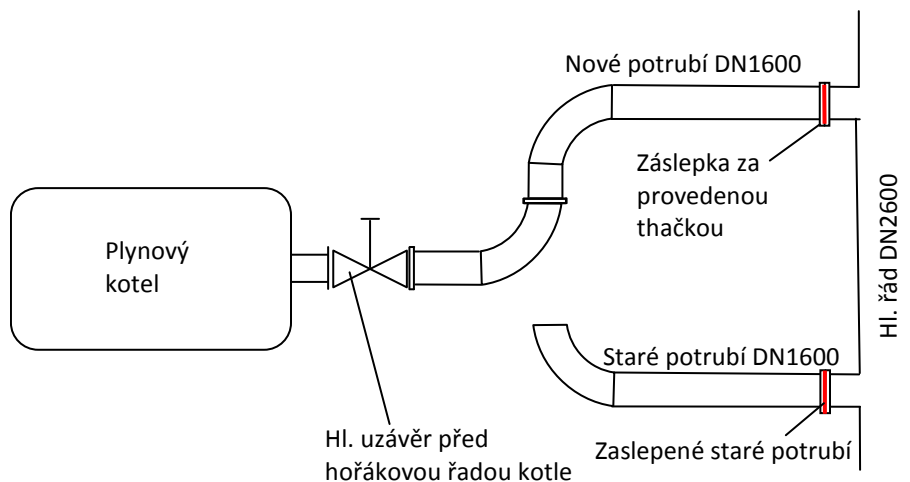
<sup>5)</sup> Někdy je problém dosáhnout hodnoty 1%, vlivem směšování inertního a topného plynu, pak se zahájí práce při nejnižších dosažených hodnotách (i okolo 4% CO)

## **8.4 Odslepení a zaplynění nového potrubí DN1600**

Řízené odslepení nového potrubí DN1600 v místě za trhačkou je velice podobné jako řízené zaslepování popsané v kapitole 8.3. Připomeňme stav, ve kterém se nachází náš „problém“ (obr. 8-11) Nové potrubí je již propojené ke spotřebiči, předpokládá se, že je provedena zkouška těsnosti a staré potrubí je připraveno k likvidaci. Je potřeba jen vytáhnout záslepku na novém potrubí za trhačkou a postupně „zaplynit“ celý plynovod.

Prvním krokem je provést tzv. odvzdušnění, které spočívá ve vytěsnění vzduchu z potrubí, to lze provést snadno, do potrubí foukám dusík z jednoho konce, na druhém provádím měření množství  $O_2$ .

Jakmile je kyslík vytěsněn, provede se odhad doby pro odslepení, provedou se výpočty obdobně jako v kapitole 8.3 vztahy (84) až (92) a celý postup už je identický se zaslepováním, s tím rozdílem, že záslepku vytahují.



8-11 Stav před odslepením

Po odslepení se postupně otvírají armatury směrem k hořákům na spotřebiči, jakmile je analýza před spotřebičem odpovídající VP plynu, je možno dle místního provozního řádu (ČSN 386405) uvést spotřebič do provozu.

Dokončí se demontáže odstaveného starého potrubí DN1600 a práce na výměně jsou hotovy. Během realizace došlo jen k malým omezením, při zaslepování a odslepování se načas snížila výhřevnost VP plynu v síti inertním médiem (vzhledem k objemu zanedbatelně) a plynový kotel byl po dobu zaslepení, přepojení a odslepení odstaven (minimální doba v porovnání s „klasickými“ způsoby)

## 9. Závěr

Speciální plynové práce aplikované na problémy v kapitole 7 a 8 jsou v hutních provozech nedocenitelné, umožňují rozvíjet vlastní plynovou síť za provozu a jsou ekonomicky velmi výhodné. Různými jejich kombinacemi lze pro topné plyny v oblastech nízkotlaku (do 5kPa včetně), jež v hutních provozech převažují, vyřešit téměř jakoukoliv novou odbočku, dají se použít i na odstraňování poruch a havárií či jen odstavování plynovodů z provozu.

I přes zjevné výhody speciálních plynových prací jsou spojené s riziky otravy oxidem uhelnatým, či vznikem výbušné směsi s jeho následnou iniciací. Byť jsou tato rizika minimalizována, jak jen to je možné, je potřeba mít je neustále na paměti. Vzniká otázka, jakým novým způsobem zhotovit novou odbočku za provozu tak, aby byla bezpečnost ještě větší a provedení prací ještě ekonomičtější.



## **10.Literatura**

- [1] Nařízení vlády 406/2004 sb. ze dne 2 června 2004
- [2] ČSN 386405 – plynová zařízení, zásady provozu
- [3] Ing. Jiří Volf, CSc, Milan Závada: Jednotná profesní příprava obsluh plynových zařízení, I. část, Hutnický institut – Dobrá, pobočka Ostrava 1983
- [4] Kysela L., Tomčala: Plynárenské rozvody a spotřebiče. Poznámky k přednáškám, Katedra energetiky VŠB – TU Ostrava 2008
- [5] <http://www.gascontrol.cz/produkty/plynovody-uzavreni.html>
- [6] ČSN 386420 – průmyslové plynovody (stará norma platná do května 2009)
- [7] Čapla L., Beneš M.: Vlastnosti topných plynů (skriptum, Ústav plynárenství, Praha 2000)
- [8] Zdeněk Kadlec: Termomechanika, návody do cvičení, VŠB TU Ostrava 2008, ISBN 978-80-248-1736-1
- [9] Rédr M.: Tepelné hospodářství v hutí-1, SNTL, Praha 1983
- [10] Janáč J., Zábranský O., Hypr J.: Záměnnost a úprava topných plynů, SNTL, Praha 1967
- [11] <http://vytapieni.tzb-info.cz>, ing.Josef Fík Spalovací vlastnosti ZP (1), 30.4.2004
- [12] [http://www.ecmost.cz/ver\\_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm](http://www.ecmost.cz/ver_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm)
- [13] Coburn, R.F. et al., Mechanisms of carbon monoxide toxicity. Preventive medicine, 8: 310-322 (1979).
- [14] NV361/2007 – podmínky ochrany zdraví při práci
- [15] Janalík Jaroslav, Pavel Šťáva: Mechanika tekutin, skriptum, VŠB Technická universita Ostrava, Ostrava 2002
- [16] ČSN EN 15001 Zásobování plynem – plynovody s provozním tlakem vyšším než 0,5 bar pro průmyslové využití a plynovody s provozním tlakem vyšším než 5 bar pro průmyslové a neprůmyslové využití
- [17] Rédr M., Příhoda M.: Základy tepelné techniky, SNTL, Praha 1991
- [18] ČSN EN 12007 Zásobování plynem – plynovody s nejvyšším provozním tlakem do 16 barů včetně
- [19] Vyhláška č. 21/1979 Sb.
- [20] Návod k obsluze vrtné soupravy HILTI DD130, [www.hilti.com](http://www.hilti.com)
- [21] [www.berendsen.cz](http://www.berendsen.cz), [product\\_sheet.pdf](#)

## **11. Seznam příloh**

- Příloha č. 1, Naměřené hodnoty složení vysokopecního plynu  
Příloha č. 2, Naměřené hodnoty složení koksárenského plynu  
Příloha č. 3, Naměřené hodnoty složení konvertorového plynu  
Příloha č. 4, Naměřené hodnoty složení směsného plynu  
Příloha č. 5, Chemické složení a souhrn sledovaných vlastností topných plynů  
Příloha č. 6, Sestava vrtné soupravy  
Příloha č. 7, Sestava trhačky  
Příloha č. 8, Příkaz V na trhací práce

## **12. Seznam obrázků**

- |              |   |
|--------------|---|
| Obrázek 2-1  | Oddělení potrubí od ostatních                                   |
| Obrázek 2-2  | Schéma navrtávky  |
| Obrázek 2-3  | Trhačka   |
| Obrázek 2-4  | Schéma balónování a technologie STOPPLE® Equipment              |
| Obrázek 3-1  | Schéma referenční pícky   |
| Obrázek 3-2  | Delbourgův diagram záměnnosti                                   |
| Obrázek 7-1  | Zachycení odvrtné části   |
| Obrázek 7-2  | Systém utěsnění   |
| Obrázek 7-3  | Mokré vrtání  |
| Obrázek 8-1  | Schéma odbočky nevyhovujícího potrubí                           |
| Obrázek 8-2  | Nátrubek DN1600 a jeho přivažení k stávajícímu plynovodu DN2600 |
| Obrázek 8-3  | Nástřík dusíku  |
| Obrázek 8-4  | Táhla se zajištěním   |
| Obrázek 8-5  | Packy na zajištění a vodící nosy                                |
| Obrázek 8-6  | Speciální šrouby pro začátek vytažení                           |
| Obrázek 8-7  | Hrnc, vtažení a zaslepení                                       |
| Obrázek 8-8  | Provádění trhací práce  |
| Obrázek 8-9  | Schéma po montáži   |
| Obrázek 8-10 | Shéma inertizace při řízeném zaslepování                        |
| Obrázek 8-11 | Stav před odslepením  |

### **13. Seznam tabulek**

Tabulka 3-1	Hodnoty spalných tepel a výhřevností hořlavých složek plynů
Tabulka 3-2	Horní a dolní meze výbušností složek topných plynů
Tabulka 3-3	Fyzikální a chemické vlastnosti vysokopecního plynu
Tabulka 3-4	Fyzikální a chemické vlastnosti koksárenského plynu
Tabulka 3-5	Fyzikální a chemické vlastnosti konvertorového plynu
Tabulka 3-6	Fyzikální a chemické vlastnosti zemního plynu
Tabulka 3-7	Fyzikální a chemické vlastnosti směsného plynu
Tabulka 3-8	Koncentrace karboxyhemoglobinu v krvi a projevující se příznaky
Tabulka 3-9	Přípustné expoziční limity oxidu uhelnatého
Tabulka 4-1	Ekvivalentní drsnost potrubí, zdiva
Tabulka 4-2	Tloušťky potrubí doporučené
Tabulka 7-1	Tlakové limity pro navrtávky
Tabulka 7-2	Parametry vrtné soupravy